



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

**PROTISMYKOVÉ VLASTNOSTI
ASFALTOVÝCH VRSTEV S R - MATERIÁLEM**

SKID RESISTANCE OF ASPHALT LAYERS WITH RECYCLED MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Bambulová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR HÝZL, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lucie Bambulová
Název	Protismykové vlastnosti asfaltových vrstev s R - materiálem
Vedoucí práce	Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Specifikační normy pro asfaltové směsi řady ČSN EN 13108

Zkušební normy pro asfaltové směsi za horka řady ČSN EN 12697

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí

ČSN 73 6121 Hutněné asfaltové vrstvy

ČSN 73 6177 Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek

Sborníky s konferencí Asfaltové vozovky 2009, 2011, 2013, 2015

Internetové zdroje

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce je věnována problematice protismykových vlastností vozovek, ve kterých je použit R - materiál. V diplomové práci bude prováděno laboratorní posuzování protismykových vlastností kameniva a R - materiálu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Petr Hýzl, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou protismykových vlastností povrchu vozovky u obrusných vrstev z asfaltových směsí s R-materiálem. Konkrétně se jedná o směs typu ACO 11 (asfaltový beton pro obrusné vrstvy). V teoretické části práce je rozebrána problematika protismykových vlastností povrchu vozovky a recyklace R-materiálu. Praktická část se věnuje návrhu a laboratorní výrobě asfaltové směsi ACO 11 bez příměsi R-materiálu a s obsahem 38 % R-materiálu. Dále jsou v práci uvedeny výsledky měření součinitele tření po ohlazení pro tyto asfaltové směsi. Cílem práce bylo zjistit vliv zvýšeného obsahu R-materiálu na protismykové vlastnosti povrchu vozovky, protože je plánována aktualizace normy ČSN EN 13108-1, která umožní použití až 40 % R-materiálu do směsí typu ACO 11.

KLÍČOVÁ SLOVA

Protismykové vlastnosti povrchu vozovky, součinitel tření, zkušební zařízení pro měření součinitele tření po ohlazení, ohladitelnost kameniva, obrusná vrstva, R-materiál

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the problems of pavement surface skid resistance of wearing course of asphalt mixtures with R-material. Specifically, it is a mixture of type ACO 11 (asphalt concrete for wearing layers). In the theoretical part of the thesis there are dismantled the problems of Antiskid properties of the road surface and recycling of R-material. The practical part is dedicated to the design and laboratory production of the asphalt mixture ACO 11 without admixture of R-material and with content of 38 % R-material. In addition, the results of the measurement of friction coefficient after smoothed for these bitumen mixtures are shown in the work. The aim of the thesis was to determine the influence of the increased content of R-material on the anti-skid properties of the road surface as it is planned to update the standard ČSN EN 13108-1, which will allow the use of up to 40 % R-material into the mixtures of type ACO 11.

KEYWORDS

pavement surface skid resistance; friction coefficient, a test device for measuring coefficients of friction after wearing, aggregate polishing, wearing course, RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

BAMBULOVÁ, Lucie. *Protismykové vlastnosti asfaltových vrstev s R-materiálem*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací, 2018. 84 s., 23 s. příl. Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Petr Hýzl, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Protismykové vlastnosti u asfaltových vrstev z R-materiálu, jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 12. 01. 2018

.....

podpis autora

Bc. Lucie Bambulová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala hlavně vedoucímu své diplomové práce Ing. Petru Hýzlovi, Ph.D a Ing. Ivě Coufalíkové za jejich ochotu a odbornou pomoc při zpracování této diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala všem zaměstnancům a pracovníkům laboratoře ústavu pozemních komunikací VUT v Brně.

V neposlední řadě mé poděkování patří především mé rodině a mým blízkým, kteří mi studium umožnili, vždy mi byli nápomocní a po celou dobu mého studia mě podporovali.

OBSAH

ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	12
1.1 Protismykové vlastnosti povrchu vozovky	12
1.1.1 Součinitel tření	16
1.1.2 Měření protismykových vlastností povrchu vozovky	17
1.1.3 Stanovení součinitele tření po ohlazení	19
1.2 R-materiál.....	25
1.2.1 Získání R-materiálu.....	26
1.2.2 Obnovení reologických vlastností R-materiálu.....	28
2 PRAKTICKÁ ČÁST	30
2.1 Použité materiály.....	31
2.1.1 Kamenivo	31
2.1.2 Asfaltové pojivo	32
2.1.3 Rejuvenační přísada	32
2.1.4 Další použité materiály pro výrobu zkušebních těles	32
2.2 Použité zkoušky a zkušební metody.....	33
2.2.1 Homogenizace a kvartace.....	33
2.2.2 Znovuzískání kameniva z R-materiálu v laboratoři (extrakce)	34
2.2.3 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor.....	36
2.2.4 Příprava zkušebního tělesa pro zkoušku stanovení součinitele tření po ohlazení.....	38
2.2.5 Měření součinitele tření po ohlazení na zkušebních tělesech	41

2.3	Návrh asfaltové směsi.....	46
2.3.1	Návrh asfaltové směsi bez R-materiálu.....	46
2.3.2	Výroba asfaltové směsi bez obsahu R-materiálu	48
2.3.3	Výroba asfaltové směsi s obsahem R-materiálu	49
2.4	Stanovení maximální objemové hmotnosti	50
2.5	Výroba Marshallových těles	52
2.6	Stanovení objemové hmotnosti	55
2.7	Stanovení mezerovitosti.....	58
2.8	Laboratorní výroba desky.....	59
2.9	Měření součinitele tření po ohlazení	65
3	Závěr	72
	Seznam obrázků	79
	Seznam tabulek	81
	Seznam Grafů	82
	Seznam rovnic	82
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	83
	Seznam příloh	84

ÚVOD

Pozemní komunikace má několik parametrů, které mohou ovlivňovat bezpečnost dopravy. Jedním ze zásadních parametrů jsou protismykové vlastnosti povrchu vozovky. Kvalita protismykových vlastností povrchu vozovky je dána především odolností vůči ohlazení hrubého kameniva obsaženého v asfaltové směsi. Proto je velmi důležité brát zřetel na druh a kvalitu kameniva použitého do asfaltové směsi především v obrusné vrstvě, a to z hlediska ohladitelnosti. [1]

V České republice je požadovaná minimální hodnota ohladitelnosti kameniva $PSV = 50$, která je dána normou ČSN EN 13043. V dnešní době je dovoleno do obrusných vrstev použít i R-materiál ovšem v omezeném množství daném normou ČSN EN 13108-1 pro asfaltové směsi typu asfaltový beton (AC). [2]

U asfaltové směsi ACO 11, která je řešená v diplomové práci, je v současnosti povoleno přidání 25 % R-materiálu. Tato hodnota je ovšem velmi nízká ve srovnání se státy západní Evropy, proto je plánována revize národní přílohy. V rámci revize bude zvýšen dovolený obsah R-materiálu ve směsi ACO 11 až na 40 %.

Než tato revize přijde v platnost, je vhodné zjistit, jaký vliv bude mít zvýšení obsahu R-materiálu v asfaltové směsi v obrusné vrstvě na protismykové vlastnosti povrchu vozovky. Je nutné si uvědomit, že R-materiál je získáván vyfrézováním či vybouráním většinou celé vozovky se všemi krytovými konstrukčními vrstvami, tedy podkladní, ložnou a obrusnou vrstvou, viz obr. 1.



Obrázek 1: Vrstvy konstrukce vozovky [37]

Kamenivo, které se nachází v ložné a podkladní vrstvě nemusí splňovat požadavky na ohladitelnost kameniva do obrusné vrstvy, protože tyto vrstvy nejsou přímo pojížděné a nemají tak přímý vliv na protismykové vlastnosti povrchu vozovky. Naopak kamenivo v obrusné vrstvě, jak již bylo zmíněno, tato kritéria musí splňovat.

Proto je v diplomové práci provedeno srovnání asfaltové směsi ACO 11 bez R-materiálu a s 40 % R-materiálu z hlediska protismykových vlastností povrchu vozovky, které byly změřeny na zkušebním zařízení pro měření součinitele tření po ohlazení.

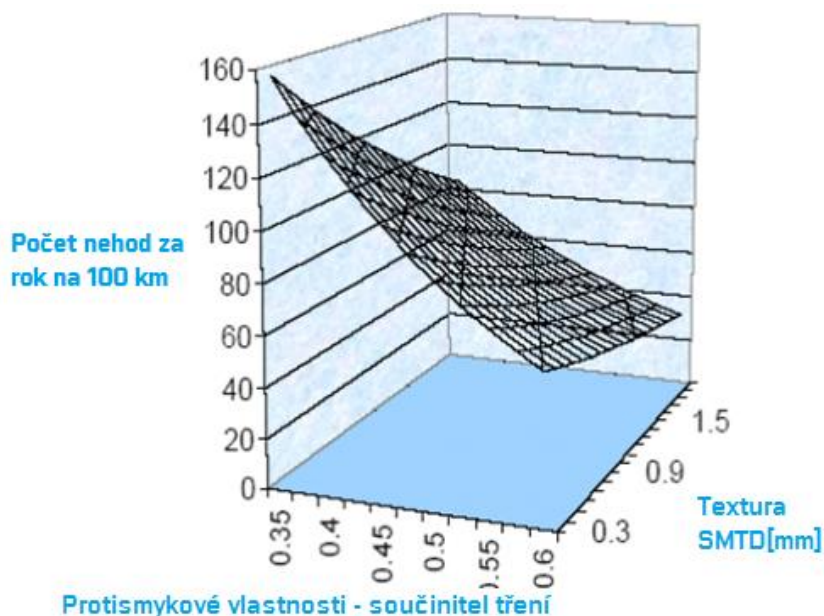
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Protismykové vlastnosti povrchu vozovky

V České republice bylo již několikrát prokázáno, že protismykové vlastnosti povrchu vozovky mají velký vliv na bezpečnost provozu na pozemních komunikacích. Proto je diplomová práce zaměřena právě na ně. [37]

Jeden z příkladů je, pokud je na povrchu asfaltové vozovky vystoupený asfalt, jedná se o extrémně kluzký povrch. Při jízdě po tomto povrchu za deště je vozovka téměř stejně nebezpečná jako při jízdě na náledí. [37]

Závislost mezi počtem nehod a povrchovými vlastnostmi vozovky je velmi silná jak lze vidět na obrázku 2. [7]



Obrázek 2: Závislost roční míry nehodovosti na 100 km na součiniteli bočního tření a textuře SMTD měřeného v USA¹ [5]

Řidiči, kteří nejsou seznámeni s problematikou povrchových vlastností

¹ Hodnota SMTD ((Sensor Measured Texture Depth), se určí jako průměr směrodatných odchylek, které se měří laserem profilu vozovky od proložené parabolické křivky.

vozovek, nemohou správně korigovat své chování a jejich špatné rozhodnutí může vést k tragické události. Proto je nutné tuto problematikou nepodceňovat. [37]

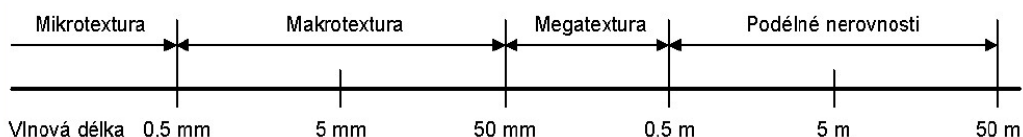
Protismykové vlastnosti povrchu vozovky

Protismykové vlastnosti jsou definovány jako schopnost povrchu vozovky zatíženého dopravou zajišťovat prostřednictvím tření spolupůsobení mezi pohybující se pneumatikou a povrchem vozovky. Protismykové vlastnosti lze posuzovat na základě měřeného součinitele tření [17].

Tření je jev, který vzniká při těsném kontaktu dvou pohybujících se těles. Tření je většinou míněno mezi dvěma pevnými tělesy, tření mezi kapalnými nebo plynými tělesy je označováno jako odpor prostředí. Při každém tření vzniká takzvaná třecí síla, která působí v opačném směru než síla pohybová (příp. proti změně klidového stavu u klidového tření). Třecí síla se zmenšuje s narůstající rychlostí a také většinou i s narůstající teplotou stykových ploch. K překonání třecí síly je potřebná práce, která se mění třením převážně na teplo. Přeměněná práce na teplo způsobuje mechanické opotřebení obou povrchů. Nejčastějším typem tření je smykové tření (vlečné tření, kinematické tření), které vzniká při posuvném pohybu těles. [36]

U dynamických metod měření tření se jedná o pohyb mezi povrchem vozovky a pneumatikou měřicího kola. Kolo je přitěžováno předepsanou svislou silou a brzděno na předepsaný poměr skluzu anebo je odkloněno od podélné osy. Vzniklá třecí síla působí na kontaktní plochu podélně i bočně. Toto tření je specifikováno jako součinitel tření.

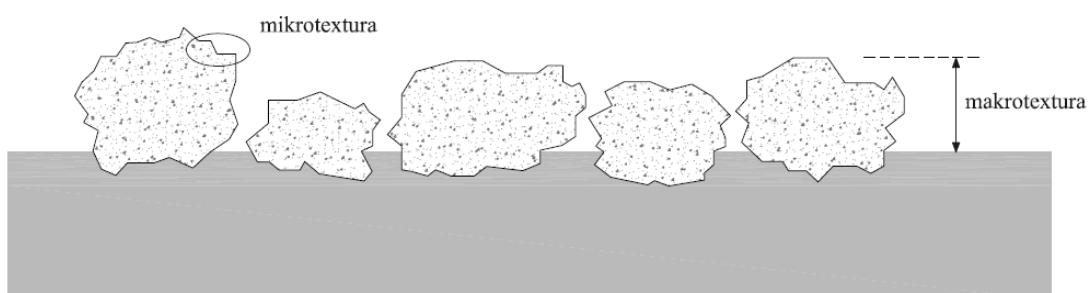
Důležitým parametrem ovlivňujícím protismykové vlastnosti povrchu vozovky je textura a morfologické uspořádání částic materiálu povrchu vozovky. Protismykové vlastnosti povrchu vozovky jsou dány mikrotexturou a makrotexturou (textura je definována odchylkou povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu a vlnovou délkou). Tyto dvě veličiny spolu korespondují, proto bylo zavedeno názvosloví založené na délce vlny, viz obr. 3. [17]



Obrázek 3: Názvosloví z hlediska délky vlny [17]

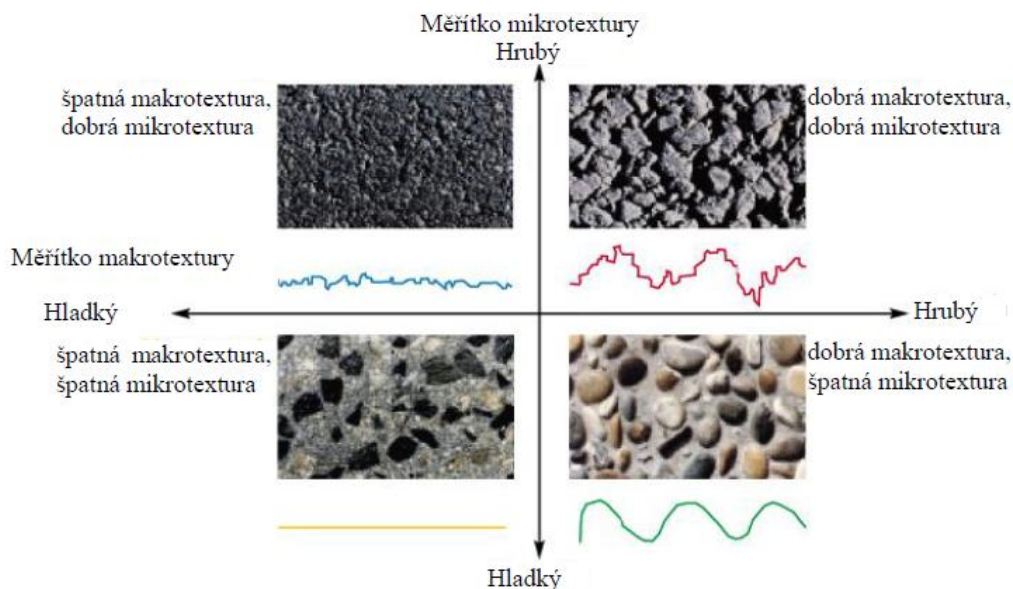
Mikrotexura je dána velikostí a tvarem výstupků jednotlivých zrn. Ovlivňuje protismykové vlastnosti povrchu vozovky při všech jízdních rychlostech.

Makrotexura je tvořena hrubými a jemnými frakcemi kameniva nebo povrchovou úpravou CB krytů.



Obrázek 4: Specifikace mikrotexury a makrotexury [17]

Kvalita makrotexury a mikrotexury je velmi subjektivní záležitost a v praxi mezi nimi neexistuje žádná hranice. Úrovně textury, které se na vozovce mohou objevovat, dokumentuje obrázek 5. [9]



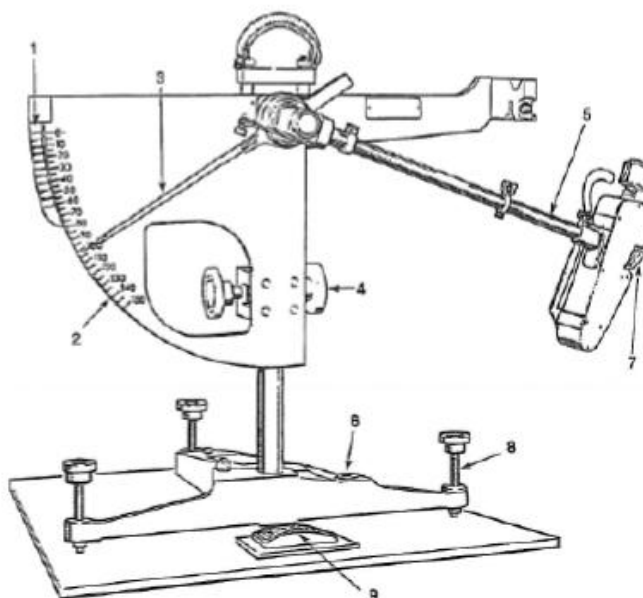
Obrázek 5 Možné extrémy mikrotexury a makrotexury [9]

Megatextura – odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 50 mm až 500 mm odpovídající vlnové délce textury v třetinooktávnových pásmech se střední vlnovou délkou v rozsahu 63 mm až 500 mm. [17]

Nerovnost – odchylka povrchu vozovky od ideálně rovného povrchu s charakteristickými rozměry 0,5 m až 50 m odpovídající vlnové délce textury v třetinooktávnových pásmech se střední vlnovou délkou v rozsahu 0,63 m až 50 m. [17]

Parametry reprezentující protismykové vlastnosti a texturu povrchu vozovky:

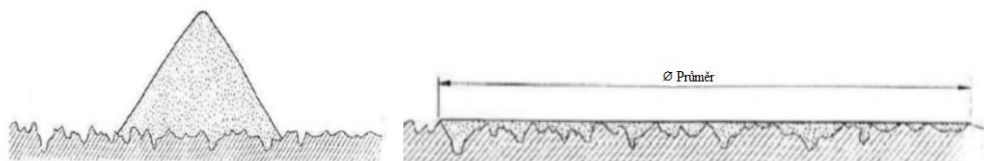
Součinitel tření zjištěný kyvadlem (PTV – Pendulum Test Value): vyjadřuje ztrátu kinetické energie při tření standardní pryžové třecí patky kyvadla po zkoušeném povrchu vozovky. Hodnota součinitele tření zjištěná kyvadlem vyjadřuje kvalitu mikrotextury měřeného povrchu, viz obr. 6. [17]



Obrázek 6: Příklad na stanovení tření [15]

Střední hloubka textury povrchu vozovky zjištěná odměrnou metodou (MTD – Mean Texture Depth): vyjadřuje střední hloubku textury povrchu vozovky určenou vztahem mezi daným objemem skleněných kuliček a plochou, na

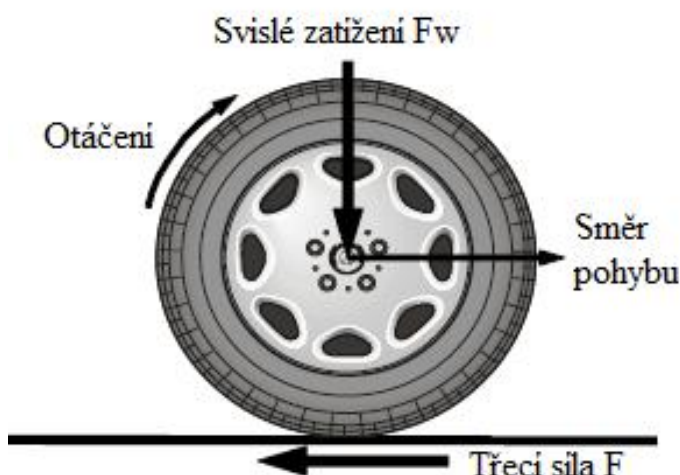
které kuličky vyplní beze zbytku prohlubně na povrchu vozovky. Hodnota MTD vyjadřuje velikost makrotextury měřeného povrchu, viz obr. 7. [17]



Obrázek 7: Metoda pro stanovení makrotextury [38]

1.1.1 Součinitel tření

Součinitel smykového tření je skalární fyzikální veličina, což znamená, že nemá žádnou jednotku. Je závislý na jakosti styčných ploch a jejich drsnosti. [36]



Obrázek 8: Zjednodušené schéma třecí síly působící na pohybující se kolo [36]

SOUČINITEL TŘENÍ:

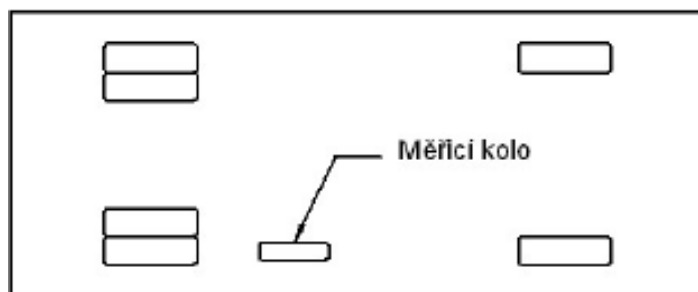
$$\mu = \frac{F}{F_w} \quad (1)$$

μ - bezrozměrný součinitel tření

F - podélná (boční) síla v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou [N]

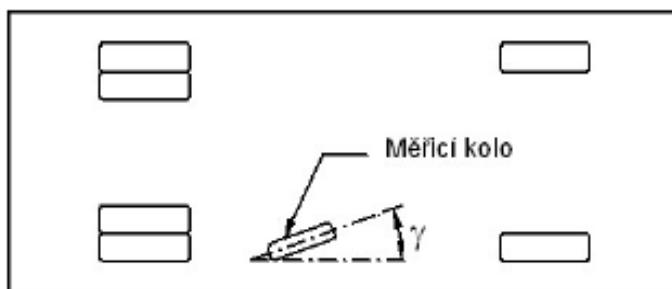
F_w - svislá síla působící v místě dotyku pneumatiky měřicího kola s vozovkou [N]

Součinitel podélného tření povrchu vozovky (f_p) zjištěný dynamickým měřicím zařízením: vyjadřuje vztah mezi podélnou silou a svislou silou podle vzorce 1, při smykovém tření pneumatiky měřicího kola na zkoušeném povrchu vozovky v podélném směru, viz obr. 9. [17]



Obrázek 9: Schéma zařízení pro měření součinitele podélného tření [17]

Součinitel bočního tření povrchu vozovky (f_b) zjištěný dynamickým měřicím zařízením: vyjadřuje vztah mezi boční silou při daném odklonu osy měřicího kola od podélné osy měřicího zařízení v místě dotyku pneumatiky se zkoušeným povrchem vozovky a svislou silou podle vzorce 1, viz obr. 10. [17]



Obrázek 10: Schéma zařízení pro měření součinitele bočního tření [17]

1.1.2 Měření protismykových vlastností povrchu vozovky

Protismykové vlastnosti povrchu vozovky na pozemních komunikacích by měly být pravidelně kontrolovány. V České republice se k jejich měření používá zařízení TRT, které je současně i národním referenčním zařízením, viz obr. 12. Po celém světě jsou provozovány desítky dalších zařízení, např. SCRIM, SKM, RoadStar atd., viz tab. 1. [3][2]

Tabulka 1: Příklad různých zařízení k měření protismykových vlastností povrchu vozovky [8]

Zkušební metoda	Zařízení		
Blokované kolo		Švédský Skiddometer BV 11 (obr. vlevo) Německý Stuttgarter Reibungsmesser SRM SRT-3 (obr. vpravo)	
Boční síla		Britský Mu-Meter (obr. vpravo) Britský SCRIM Německý SKM Rakouský RoadSTAR (obr. vlevo)	
Pevný prokluz		ASFT (obr. vlevo) Saab Britský GripTester (obr. vpravo) Finský BV-11 ROAR	
Proměnný prokluz		České TRT (obr. vlevo) Francouzský IMAG Norský RUNAR (obr. vpravo) Systémy ROAR a SALTAR	

Národní referenční zařízení: dynamické zařízení na měření součinitele podélného tření povrchu vozovky, které splňuje požadavky uvedené v příloze B normy ČSN 73 6177. [17]



Obrázek 11: Měřicí vozidlo TRT [34]

1.1.3 Stanovení součinitele tření po ohlazení

Součinitel tření po ohlazení μ_{FAP} se měří v laboratoři na zkušebním zařízení pro stanovení součinitele tření po ohlazení. Dříve byla tato zkouška nazývaná metodou Wehner/Schulze, protože byla vyvinuta v Německu na Technické univerzitě v Berlíně v 60. letech 20. století, viz obr. 12. [30]

Toto zařízení simuluje působení dopravního zatížení a měří součinitel tření po ohlazení μ_{FAP} v závislosti na počtu cyklů ohlazování. Bohužel zařízení nesimuluje klimatické podmínky, ale i přesto je použitelné pro přibližnou predikci životnosti protismykových vlastností povrchu vozovky. Tato zkušební metoda je popsána v ČSN EN 12697-49. [18]

Vybavení ke zkoušce

Zkušební zařízení se skládá z jednotky na ohlazování vzorku, upínacího systému na upevnění vzorku a jednotky pro měření součinitele tření. [18]



Obrázek 12: Zařízení pro stanovení součinitele tření po ohlazení ve Vídni [19]



Obrázek 13: Zařízení pro stanovení součinitele tření po ohlazení na VUT v Brně

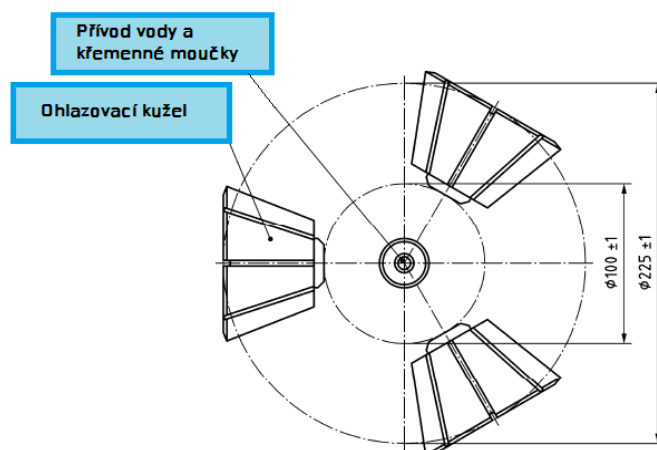
Systém na upínání zkušebního vzorku

Upínací forma musí umožnit správnou fixaci vzorku o průměru nejméně 225 mm nebo rovnoběžnostěnných vzorků alespoň s následujícími rozměry: 320 mm × 260 mm a tloušťkou ne více než 50 mm. [18]

Průběh zkoušky

V průběhu zkoušky se střídá proces ohlazování povrchu vzorku a měření součinitele tření po ohlazení μ_{FAP} .

Ohlazování vzorku zajišťují tři komolé pryžové kuželíky umístěné na rotační hlavě, které simulují účinek pneumatik vozidel na povrchu vozovky, viz obr. 14 – rozměry jsou uvedené v mm.

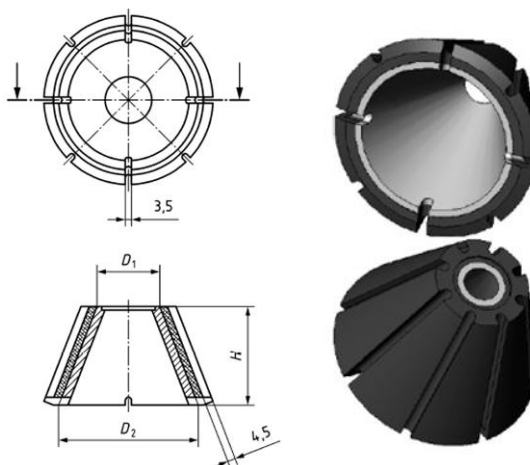


Obrázek 14: Ohlazovací hlava pohled zespodu [18]

Ohlazovací kužely

Ohlazovací kužely se skládají z kovového nosného tělesa tvaru komolého kužele, které je na začátku zkoušení pokryto $(8,5 \pm 0,5)$ mm tlustou vrstvou pryže. Do této pryžové vrstvy je vyřezáno osm profilových drážek s hloubkou $(4,5 \pm 0,5)$ mm a šířkou $(3,5 \pm 0,5)$ mm. Ohlazovací kužely musí mít následující vlastnosti:

- průměr D1: (36 ± 1) mm a D2: (80 ± 1) mm
- výška H $(56,3 \pm 0,1)$ mm
- tvrdost (65 ± 3) Shore A při teplotě (23 ± 2) °C podle ISO 7619-1 [18]



Obrázek 15: Ohlazovací kužely – příčný, podélný řez a 3D pohled [18]

Tyto kuželíky se volně odvalují po povrchu, na který je současně dávkovaná směs křemenné moučky a vody. Tento proces probíhá, dokud není

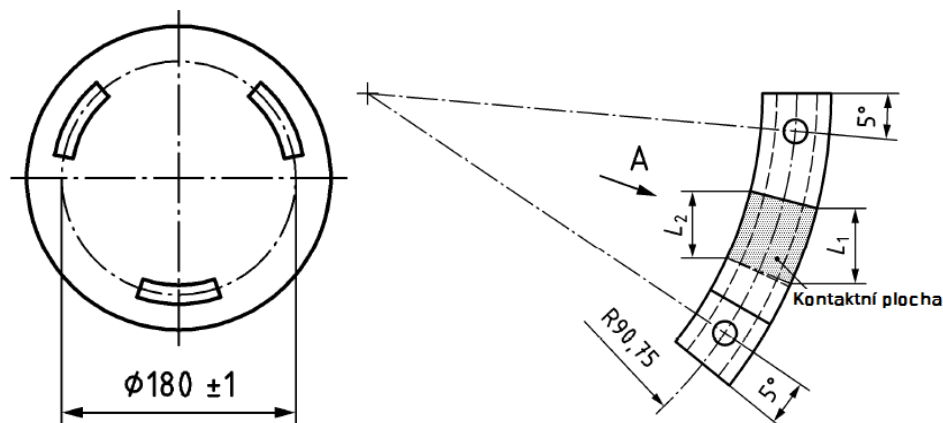
dosaženo požadovaného počtu otáček ohlazovací hlavy, který byl zadán před spuštěním zařízení. Počet cyklů lze individuálně měnit. V Berlíně počet cyklů končí po 180 000 pojezdech kuželíků. Pro předpověď vývoje protismykových vlastností povrchů vozovek se používá více cyklů. [10] [30]

Po skončení ohlazování vzorku se změří součinitel tření po ohlazení pomocí tří pryžových patek (každá má plochu 4 cm^2) umístěných na rotační hlavě na měření tření.

Kluzné patky na měření součinitele tření

Kluzné patky se skládají z kruhového kovového segmentu s upínacím systémem, který byl pogumován v tloušťce $(5 \pm 1) \text{ mm}$. Charakteristiky kluzných patek jsou následující:

- šířka $(14,5 \pm 0,1) \text{ mm}$
- průměrná délka $(30 \pm 1) \text{ mm}$ kontaktu rovného povrchu se zkušebním vzorkem, měřeno jako průměr z L_1 , L_2 , jak je uvedeno na obrázku 17
- tvrdost Shore (65 ± 3) , Shore A při teplotě $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ podle normy ISO 7619-1 [18]



Obrázek 16: Měřicí hlava (pohled zespodu), kluzná patka - tvar pryže (půdorys) [18]

Patky se kalibrují na drátoskleněné desce o známé hodnotě součinitele tření μ_{ref} $(0,095 - 0,115)$ a až teprve pak se změří součinitel tření po ohlazení μ_{FAP} na povrchu vzorku a to tak, že rotační měřicí hlava se roztočí na rychlost $(100 \pm 5) \text{ km/h}$ ve stopě měřicích patek. Hlava je přitlačena na mokrý povrch

vzorku statickou silou (253 ± 3) N. Poté již hlava není dále poháněna, ale pouze pouze brzděna třením vznikajícím mezi měřicími patkami a povrchem vzorku. Během brzdění je současně snímán krouticí moment M (s přesností ± 1 Nm) v uložení zkušebního vzorku, ze kterého se vypočítá součinitel tření μ_m pro rychlost 60 km/h. Hodnotu μ_m je nutno upravit pomocí součinitele tření μ_{ref} změřeného na referenční skleněné desce, který je zjišťován jak po procesu měření na vzorku, tak i před ním. [18]

Naměřený krouticí moment se přepočítá na součinitel tření μ podle následujících vztahů: [18]

SOUČINTEL TŘENÍ PO OHLAZENÍ:

$$\mu = \frac{M}{253 \cdot 0,09} \quad (2)$$

M naměřený krouticí moment [Nm]

μ součinitel tření

KOREKCE SOUČinitele TŘENÍ DLE HODNOT NAMĚŘENÝCH NA REFERENČNÍM POVRCHU:

$$\mu_{FAP} = \mu_m - \mu_{km} + \mu_{ref} \quad (3)$$

μ_{FAP} součinitel tření pro jednotlivé měření,

μ_m součinitel tření při rychlosti 60 km/h,

μ_{km} průměr z hodnot součinitele tření naměřených na referenčním povrchu (před měřením na vzorku)

μ_{ref} známá hodnota součinitele tření na referenčním povrchu (po měření na vzorku)

Graf součinitele tření μ_{FAP} je proložen měřenými body polynomem 6. Řádu.

Ohlazování a měření součinitele tření se střídají tak dlouho, dokud není dosaženo předpokládaného počtu cyklů ohlazování nebo počtu pojezdů kuželíky.

Při zkoušce se musí měřit minimálně dvě zkušební tělesa, aby bylo možné stanovit hodnotu FAP. Výsledek zkoušky FAP je průměr z nejméně dvou samostatných měření. Pokud je rozdíl mezi dvěma jednotlivými výsledky větší než 0,03, je zkouška neplatná a zkouška se provede na dalším vzorku. Tento dodatečný výsledek musí být zprůměrován s bližším počátečním výsledkem. Výsledek FAP je dán s přesností na tři desetinná místa. [18]

VÝROBA ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Zkušební těleso může být vývrt o průměru 225 mm, který je odebrán přímo z vozovky nebo z desky vyrobené v laboratoři z asfaltové směsi. Laboratorní těleso lze vyrobit také z kameniva frakce 2/5, 4/8, 8/11, 11/16 a také z písku 0/2 mm. [30]



Obrázek 17: Zkušební tělesa (vlevo vývrt z desky, těleso vyrobeno z kameniva, těleso vyrobeno z písku) [30]

1.2 R-materiál

R-materiál neboli asfaltový recyklát, který je v anglicky psané odborné literatuře označován zkratkou RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), se výborně hodí k novému a stejně kvalitnímu zpracování do dalšího cyklu obdobného výrobku. Potřeba opětovného využití tohoto druhotného materiálu je založena nejen na ekonomických úvahách, ale i na filozofii trvale udržitelného růstu, který nutí firmy nacházet cesty pro jeho uplatnění. [5]

V případě užití R-materiálu do nově vyráběných směsí je nutné dbát na technologickou kázeň při jeho užití. Při správném zacházení a zpracování s R-materiálem jím lze plně nahradit nové suroviny. [29]



Obrázek 18: Skládka R-materiálu

V oblasti národních příloh evropských norem pro asfaltové směsi zpracované za horka existují omezení pro vyšší dávkování R-materiálu. [12]

Množství přidaného R-materiálu do asfaltové směsi typu asfaltový beton specifikuje národní příloha normy ČSN EN 13108-1 *Asfaltové směsi* –

Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton. Pro každou konstrukční vrstvu je to jiné procentuální zastoupení, viz tab. 2.

Tabulka 2: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi² [29]

Tabulka NA-E.4.5 – Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)
ACO 8	25	ACL 16 S	30/15 ¹⁽²⁾	ACP 16 S	50 ¹⁾
ACO 8 CH	25	ACL 16 +	30 ¹⁾	ACP 16 +	60
ACO 11 S	–	ACL 16	40	ACP 22 S	50 ¹⁾
ACO 11 +	–	ACL 22 S	30/15 ¹⁽²⁾	ACP 22 +	60
ACO 11	25	ACL 22 +	30 ¹⁾		
ACO 16 S	–	ACL 22	40		
ACO 16 +	–				
ACO 16	25				

¹⁾ Množství přidávaného R-materiálu při výrobě asfaltových směsí z modifikovaných asfaltů upravuje poznámka uvedená v základní normě ČSN EN 13108-1:2008 Asfaltový beton, článek 5.3.1.1. Na základě národních zkušeností je však možné použít i jiných limitních hodnot uvedených v této tabulce.

²⁾ Při výrobě asfaltových směsí z nemodifikovaných asfaltů je možné použít R-materiál v množství do 30 %, v případě použití modifikovaných asfaltů v množství do 15 %. Použitý R-materiál musí být získán z krytů vozovek.

Vzhledem ke skutečnosti, že v tomto směru není ještě Česká republika v porovnání se západoevropskými zeměmi na stejné úrovni, tak je plánována revize národní přílohy normy ČSN EN 13108-1. V ní se mimo jiné počítá i s úpravou tabulky určující množství přidaného R-materiálu a v případě směsi ACO 11 je v plánu tento obsah zvýšit až na 40 %.

1.2.1 Získání R-materiálu

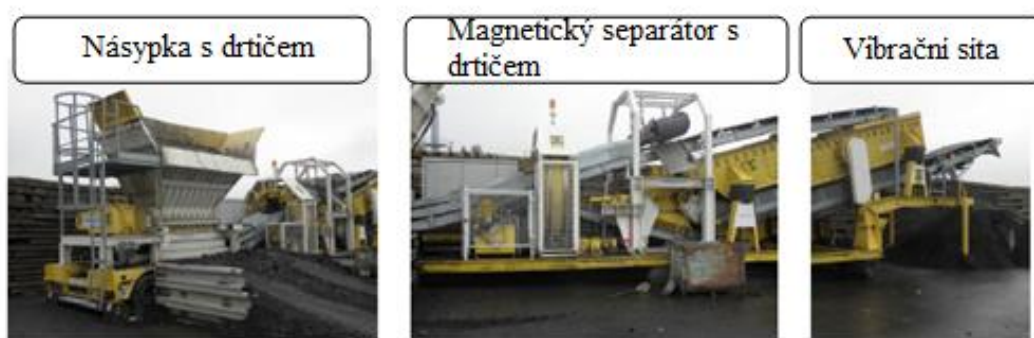
Při získání R-materiálu lze vybourat buď celou vozovku anebo jednotlivé vrstvy včetně podrcení a třídění vybouraných ker. V prvním záběru lze vybourat vrstvu asfaltové směsi a v dalším záběru zbývající vrstvy. Poté následuje drcení získaného materiálu prostřednictvím stacionárních nebo mobilních technologických linek. Součástí technologických linek je primární drtič, který zvládne zpracovat bloky o velikosti až 1,8 m. Tyto bloky jsou tlačeny

² Do obrusných vrstev u s označením S se R-materiál aktuálně nesmí vůbec použít. Množství R-materiálu se zvyšuje se snižující se intenzitou dopravy na vozovce a hloubkou zabudování v konstrukci vozovky

na rotor se zuby, kde dochází k jejich mletí. Takto podrcený materiál putuje na dopravníkovém pásu, kde je zbaven případných kovových částic pomocí odlučovačů, až k druhému drcení na výslednou potřebnou frakci. [6]



Obrázek 19: Bourání asfaltových vrstev [6]



Obrázek 20: Stacionární technologická linka pro drcení asfaltového R-materiálu [6]

Další možností je frézování pomocí frézy.

Za R-materiál je považován materiál, který má více jak 95% asfaltových materiálů, s max. obsahem 5% hm. ostatních recyklovaných materiálů. [29]

1.2.2 Obnovení reologických vlastností R-materiálu

Asfaltové pojivo je organická sloučenina, která podléhá stárnutí. Stárnutí způsobuje několik faktorů:

- vliv vysokých teplot
- oxidace vzdušným kyslíkem
- působení ultrafialového záření
- vliv dopravního zatížení

Stárnutí lze rozdělit podle času do dvou fází na krátkodobé a dlouhodobé. Krátkodobé se projevuje už při výrobě asfaltové směsi, její dopravě a pokládce. Dlouhodobé stárnutí je důsledkem používání konstrukce během doby její životnosti. Pojivo obsažené v R-materiálu podléhá tedy vlivům stárnutí, což se projevuje zvýšením bodu měknutí a snížením penetrace. Z těchto důvodů je nutno oživit R-materiál, hlavně při vyšším procentuálním dávkování do nové asfaltové směsi.

K obnovení reologických vlastností zestárlého asfaltového pojiva v asfaltové směsi s obsahem R-materiálu se používají tzv. rejuvenátory (oživovače) nebo změkčovadla. Ty pomáhají obnovit chemické, fyzické a reologické vlastnosti daného ztvrdlého pojiva obsaženého v asfaltovém recyklátu. [31]

CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Cílem diplomové práce je určit vliv přidaného R-materiálu v asfaltové směsi typu asfaltový beton pro obrusné vrstvy na protismykové vlastnosti povrchu vozovky.

Momentálně je v národní příloze normy ČSN EN 13108-1 povolený obsah R-materiálu pro asfaltový beton pro obrusné vrstvy 25 %. [2] Revizí této přílohy dojde ke zvýšení možného přidání R-materiálu do asfaltového betonu. V případě směsi ACO 11, která je předmětem této práce, dojde ke zvýšení až na 40 %.

Než bude tato revize schválena, je nutné důkladně vyzkoušet, jaké dopady by toto množství mělo na protismykové vlastnosti povrchu vozovky a bezpečnost provozu na pozemní komunikaci.

Úkolem diplomové práce bylo vytvoření osmi zkušebních těles z různých druhů kameniva a frakcí pro zkoušku stanovení součinitele tření po ohlazení. Dále byly dle změřených hodnot součinitele tření po ohlazení navrženy dvě receptury asfaltové směsi. První asfaltová směs byla typu ACO 11 bez obsahu R-materiálu a druhá se 40 % R-materiálu. Z těchto asfaltových směsí byly následně vytvořeny desky a z nich bylo odebráno šest zkušebních těles o průměru 225 mm.

Na těchto zkušebních tělesech byl stanoven součinitel tření po ohlazení a bylo zjištěno, jaký vliv na výsledky má přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi ACO 11.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části bylo zhotoveno pět zkušebních těles pro zkoušku stanovení součinitele tření po ohlazení z různých druhů a frakcí kameniva. Dále byla vyrobena tři zkušební tělesa z kameniva extrahovaného z R-materiálu. Na základě změřených hodnot součinitele tření po ohlazení na zkušebních tělesech z kameniva byly navrženy dvě receptury na výrobu asfaltové směsi typu asfaltový beton (ACO 11) bez obsahu R-materiálu a se 40 % R-materiálu. Na asfaltových směsích byla zjištěna mezerovitost, objemová hmotnost a maximální objemová hmotnost. Návrh asfaltových směsí musel být několikrát opakován, protože nebyla splněna kritéria pro mezerovitost. To mohlo být způsobeno různorodostí hornin obsažených v R-materiálu anebo nesourodností tvarového indexu kameniva fr. 8/11. Nakonec bylo nutné snížit obsah R-materiálu v asfaltové směsi na 38 %. Po splnění všech kritérií byly vytvořeny finální návrhy pro výrobu desek bez obsahu R-materiálu a s 38 % R-materiálu. Desky byly vyrobeny pomocí lamelového zhutňovače. Z hotových desek byly odebrány zkušební vývrtky $\varnothing 225$ mm. U všech vývrtů byl zjištěn průběh součinitele tření po ohlazení v závislosti na počtu pojezdů ohlazovacími kuželíky. Poté byly srovnány výsledky vývoje součinitele tření po ohlazení u vývrtů ze směsi s R-materiálem a bez obsahu R-materiálu.

Jednotlivé zkoušky, metody a jejich výsledky jsou popsány v této kapitole.

2.1 Použité materiály

Obsahem této kapitoly je určení a druh použitých materiálů v diplomové práci.

2.1.1 Kamenivo

Kamenivo tvoří v hutněných asfaltových směsích nosnou kostru, má tedy zásadní vliv na výsledné vlastnosti asfaltové směsi. Kamenivo musí splňovat požadavky dané normou ČSN EN 13108-1. [16]

Při výrobě směsi typu asfaltový beton (ACO 11) bylo použito kamenivo z lokality Brant frakce 8/11, z lokality Zbečno frakce 0/2; 2/5; 4/8 a vápencová moučka. Dále byl použit R-materiál vyfrézovaný z celé konstrukce vozovky asfaltového betonu, který byl předrcen na frakci 0/11.



Obrázek 21: Použité kamenivo v asfaltové směsi

U R-materiálu byly určeny obsažené horniny. Ty jsou uvedeny v tabulce 3, kde je procentuálně určeno jejich zastoupení.

Tabulka 3: Horniny zastoupené v R-materiálu³

Název horniny	Zastoupení
Vápenec	30%
Gabro	5%
Čedič	25%
Amfibolit	25%
Žulový porfyr	5%
Granit	10%

2.1.2 Asfaltové pojivo

Pro výrobu asfaltové směsi ACO 11 bylo použito asfaltové pojivo PmB 45/80-55. Standardně se pro ACO 11 používá silniční pojivo, které ale nebylo k dispozici. Pouze byla zvýšena výrobní a hutnící teplota směsi.

2.1.3 Rejuvenační přísada

Pro oživení asfaltového pojiva obsaženého v R-materiálu byla použita rejuvenační přísada na bázi destilátu z druhé rafinace ropy.

2.1.4 Další použité materiály pro výrobu zkušebních těles

Dvousložková pryskyřice – MC-Dur 1200VK:

Spolu s tvrdidlem tvoří po vytvrnutí pevnou a hladkou hmotu. V diplomové práci byla použita při výrobě zkušebních těles pro zařízení pro měření součinitele tření po ohlazení.

³ Podle Mgr. Michaely Halavínové Ph.D.

2.2 Použité zkoušky a zkušební metody

2.2.1 Homogenizace a kvartace

Homogenizace materiálu se provádí z důvodu segregace směsi, kde mohlo dojít k usazení větších frakcí na vrchní části vzorku, a naopak menších frakcí na spodní části vzorku.

Materiál byl vysypán na zem a rozdělen se na 4 stejné části pomocí normované lopaty, viz obr. 22.



Obrázek 22: Homogenizace v laboratoři

Zkušební vzorek je složen ze dvou protilehlých částí, jak lze vidět na obrázku 23 (vzorek č. 1 se smíchal se vzorkem č. 1). Kvartace se provádí tak dlouho, dokud nedosáhneme požadované hmotnosti navážky.



Obrázek 23: Zkušební vzorek po homogenizaci

2.2.2 Znovuzískání kameniva z R-materiálu v laboratoři (extrakce)

Pro změření součinitele tření po ohlazení kameniva R-materiálu bylo zapotřebí z něj odstranit obsažené asfaltové pojivo.

Příprava vzorku před extrakcí

Zkušební vzorek R-materiálu byl vysítován v prosévacím stroji přes síta s oky 11,2 a 8 mm, viz obr. 25.



Obrázek 24: Prosévací stroj se síty s oky 8 a 11,2 mm

Odebraný vzorek R-materiálu se musel ponořit do rozpouštědla (tetrachlorethylen) na dobu přibližně osmi hodin. Poté se provedla tzv. extrakce, což je znovuzískání kameniva z R-materiálu.

Extrakce

Kamenivo ze směsi R-materiálu bylo získáno v přístroji na extrakci asfaltu, kde se od kameniva odseparovalo asfaltové pojivo pomocí vhodného rozpouštědla tetrachlorethylen (perchlor), viz obr. 25.



Obrázek 25: Zařízení na extrakci asfaltového pojiva

Do přístroje byla vložena patrona s filtračním papírem, viz obr. 26, která zachytila vyplavované jemné kamenivo ($< 0,063$ mm). Vzorek R-materiálu byl vysypán na sadu sít a postupným kropením rozpouštědlem tetrachlorethylen (perchlor) se odděloval asfalt od kameniva. Rozpouštědlo a extrahované pojivo odtékalo do spodní části stroje. Proplachování bylo prováděno tak dlouho, dokud kamenivo nebylo zcela zbavené asfaltového pojiva, z přístroje tedy odkapával čistý tetrachlorethylen (perchlor).



Obrázek 26: Patrona

Po ukončení separace asfaltu se zařízení zastavilo a byla odebrána patrona, ve které byly zachyceny nejmenší částice ($< 0,063$ mm). Zbylé frakce kameniva byly vloženy do laboratorní sušárny a vysušeny při teplotě $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ do ustálené hmotnosti. Po vysušení kameniva byl proveden síťový rozbor.

2.2.3 Stanovení zrnitosti – síťový rozbor

Pro měření součinitele tření po ohlazení byla vyrobena zkušební tělesa z kameniv z lokality Brant, z lokality Zbečno a R-materiálu. Na každém kamenivu byl proveden síťový rozbor podle normy ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Síťový rozbor. [13]

Podstatou zkoušky bylo v roztřídění a oddělení materiálu prostřednictvím sady sít do jednotlivých frakcí. Síta byla seřazena vzestupně podle velikosti otvorů na sítěch 0,063-0,125-0,25-0,50-1,0-2,0-4,0-5,6-8,0-11,2-16-22,4 mm, viz obr. 27. [13]



Obrázek 27: Prosévací stroj

POSTUP ZKOUŠKY

Z kameniva z lokality Brant a R-materiálu byly odebrány zkušební navážky. Počáteční hmotnosti navážek jsou zaznamenány v tabulce 4 a v tabulce 5. Zkušební navážka kameniva byla nasypána na sadu sít do prosévacího stroje a nechala se cca 10 minut otřásat na vibračním zařízení. Poté se zůstatek na jednotlivém síti ručně protřepal a následně zvážil, hmotnost na daném síti byla zaznamenána. Tento proces se opakoval pro

všechna síta. Všechny hodnoty se zapisovaly do tabulky, ze které se stanovila křivka zrnitosti zkušební navážky, viz tab. 4 a graf 2.

VÝPOČET

Byla vypočtena hmotnost zůstatků na každém síti jako procento hmotnosti původní zkušební navážky M_1 . Dále byla stanovena součtová procenta hmotnosti, které propadly sítem od shora dolů kromě síta 0,0063 mm.

STANOVENÍ PROCENTA JEMNÝCH ČÁSTIC (f) :

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} * 100$$

(4)

M_1 - hmotnost vysušené zkušební navážky [kg]

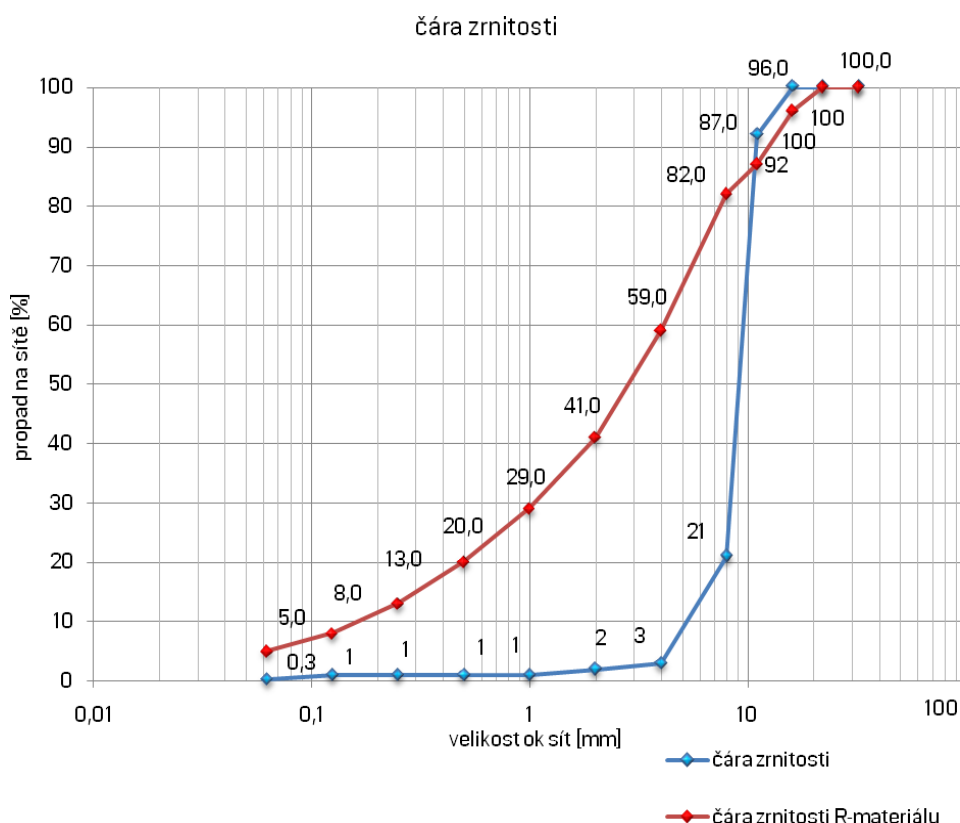
M_2 - hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 mm [kg]

P - hmotnost propadu jemných částic na dně [kg]

Srovnání čáry zrnitosti referenční směsi R-materiálu a kameniva Brant je v tabulce 4 a grafu 2. Mezní hodnoty určuje norma *ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*.

Tabulka 4: Porovnání síťových rozborů referenční směs R-materiálu a kameniva Brant

Ozn.	Frakce	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
R-materiál		96,0%	87,0%	82,0%	59,0%	41,0%	29,0%	20,0%	13,0%	8%	5%
Brant	8/11	100,0%	92,0%	21,0%	3,0%	2,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	0,3%
Zbečno	4/8	100,0%	100,0%	94,9%	12,1%	1,9%	1,4%	1,3%	1,2%	1,1%	1,0%
Zbečno	2/5	100,0%	100,0%	100,0%	57,5%	10,2%	5,6%	4,7%	4,3%	3,8%	2,9%
Zbečno	0/2	100,0%	100,0%	100,0%	97,8%	75,4%	51,5%	33,6%	21,5%	12,8%	8,5%
Váp. moučka		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%	99,4%	97,4%	87,7%	69,5%



Graf 1: Čára zrnitosti R-materiálu a kameniva Brant

2.2.4 Příprava zkušebního tělesa pro zkoušku stanovení součinitele tření po ohlazení

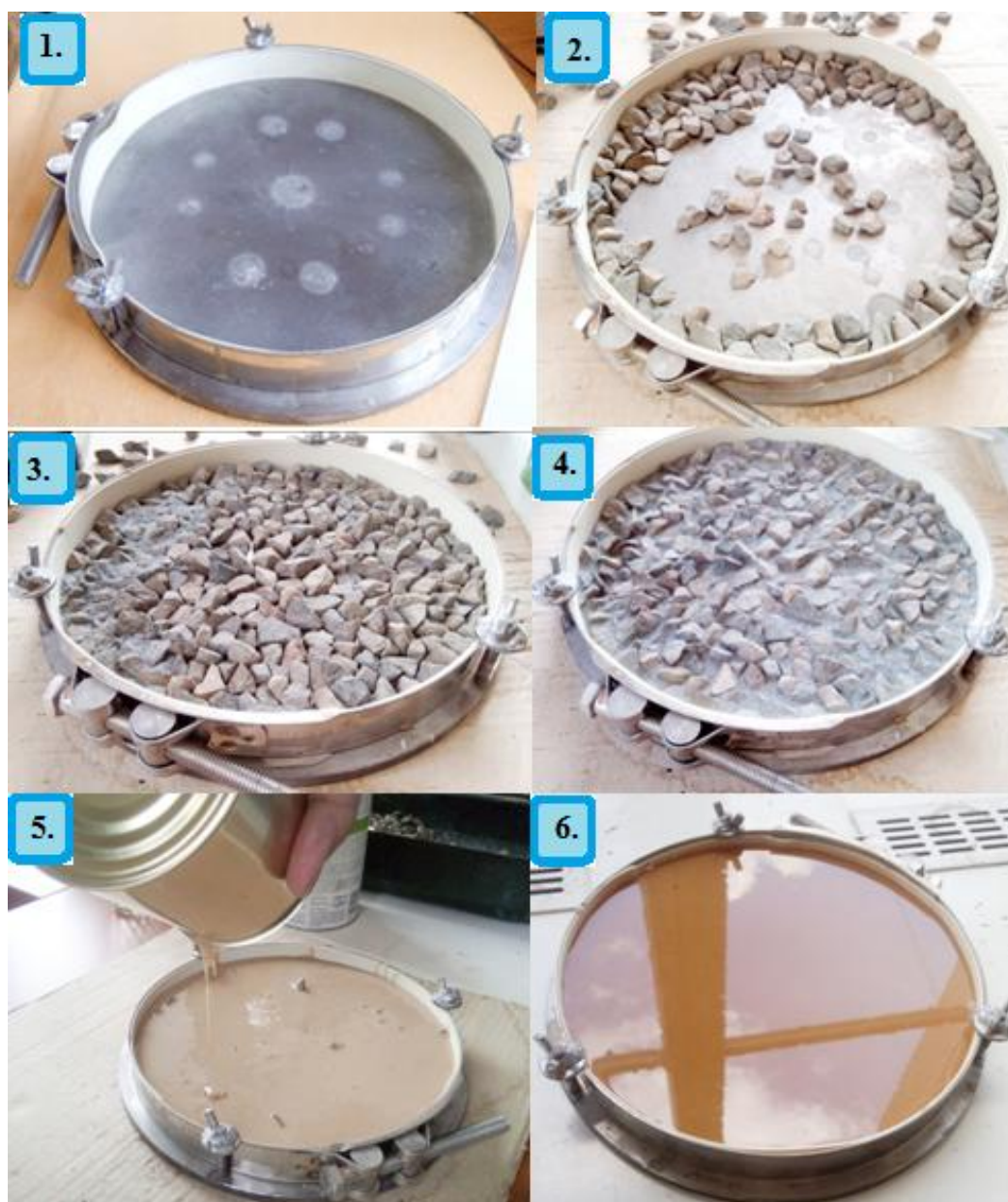
Zkušební tělesa byla vyrobena z různých frakcí a druhů kameniv. Z kameniva z lokality Brant a R-materiálu bylo odebráno potřebné množství materiálu, které bylo přeseto v prosévacím stroji na úzkou frakci 8/11, viz kap. 2.2.2. Kamenivo z lokality Zbečno bylo přeseto na úzkou frakci 4/8, z důvodu nedostatku frakce 8/11. Kamenivo bylo opláchnuto a vysušeno v peci při teplotě 110 °C. Poté R-materiál byl extrahován, viz kapitola 2.2.2.

VÝROBA TĚLES V LABORATOŘI

Zkušební tělesa byla vytvořena vyskládáním kameniva frakce 8/11 nebo frakce 4/8 do formy \varnothing 225 mm tak, aby mezery mezi zrny byly co nejmenší, viz obr. 28. Skládá se, dokud se zcela nezaplní dno formy. Kamenivo muselo být

bez prachu a suché. Tvar kameniva musel být kubický s rovnou a hladkou plochou. Jednotlivá zrna bylo nutné dávat tak, aby nelícovala.

Po vyskládání dna formy byla jednotlivá zrna pomocí štětečku zasypána přibližně do dvou třetin jejich výšky pískem frakce 0,2/0,4 mm. S velkou přesností a pečlivostí se písek vpravoval do všech dutin a štěrbin mezi zrny kameniva. Při vysypávání pískem nesmělo dojít k posunu zrn kameniva, viz obr. 28.



Obrázek 28: Výroba zkušebního tělesa

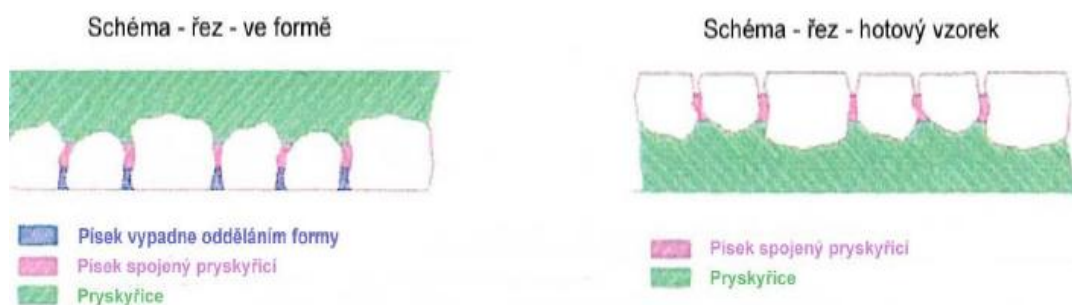
Kamenivo bylo zalito dvěma vrstvami dvousložkové pryskyřice. První vrstva lepidla byla hustší a nesměla se dostat na povrch zkušebního tělesa, protože by mohla ovlivnit měřené hodnoty součinitele tření μ_{FAP} . Druhá vrstva lepidla byla tekutější, protože díky této vrstvě se docílilo vyrovnaní povrchu rubu vzorku.

Množství dvou složek pryskyřice a plniva křemenné moučky byly smíchaný v nádobě na homogenní hmotu. Musely být bez bublinek vzduchu a hrudek.

Po zatvrdnutí lepidla (cca 5-6 hodin) byl vzorek odformován a poté byly zabroušeny hrany zadní strany vzorku.



Obrázek 29: Hotová zkušební tělesa kameniv



Obrázek 30: Schéma řezu vyrobeného zkušebního tělesa [10]

Pokud se lepidlo dostalo na líc tělesa, musí se opatrně odstranit nožem, aby neovlivňovalo měření.

2.2.5 Měření součinitele tření po ohlazení na zkušebních tělesech

Měření součinitele tření po ohlazení na zkušebních tělesech byla provedena na laboratorním zařízení ve výzkumném centru AdMaS, které je součástí Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Zkušební tělesa z kameniva byla ohlazována 90 000 pojezdy kuželíky za současného dávkování směsi křemenné moučky a vody. Počet pojezdů kuželíky a typ zkušebního tělesa byl zvolen na displeji měřicího zařízení, viz obr. 31. Po dokončení zkoušky byla změřena hodnota součinitele tření μ_{FAP} . Zkouška je podrobněji popsána v kapitole 1.2.

Součinitel tření μ_{FAP} jednotlivých zkušebních těles z kameniv a R-materiálu je uveden v tab. 5, tab. 6 a tab. 7.



Obrázek 31: Display zkušebního zařízení



*Tabulka 5: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP
kameniva Brant*

Vzorek	μ_{FAP}	Δ	FAP
Brant 8/11 I.	0,441	0,003	0,440
Brant 8/11 II.	0,455	0,024	
Brant 8/11 III.	0,434	0,021	



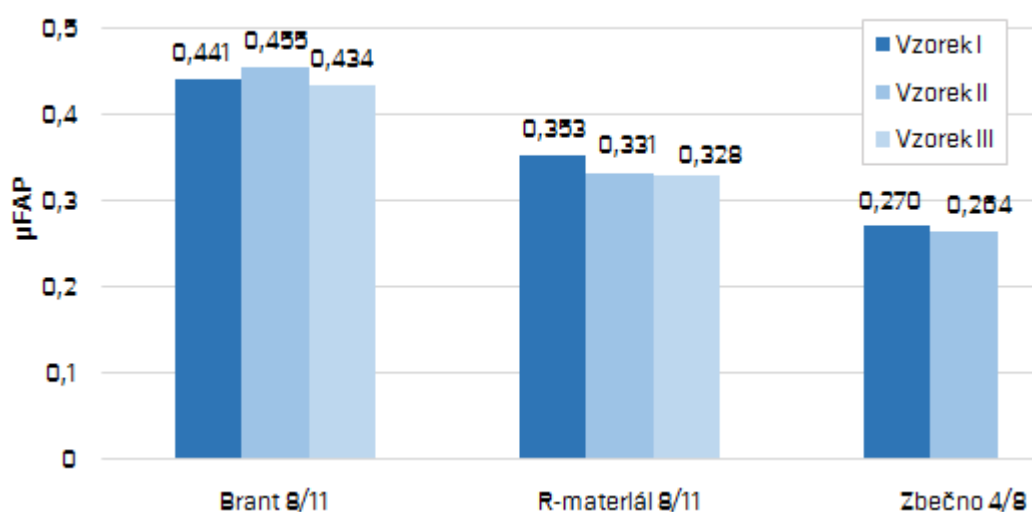
*Tabulka 6: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP
kameniva Zbečno*

Vzorek	μ_{FAP}	Δ	FAP
Zbečno 4/8 I.	0,270	0,006	0,267
Zbečno 4/8 II.	0,264		



*Tabulka 7: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP
R-materiálu*

Vzorek	μ_{FAP}	Δ	FAP
R-mat 8/11 I.	0,353	0,022	0,337
R-mat 8/11 II.	0,331	0,002	
R-mat 8/11 III.	0,328	0,024	



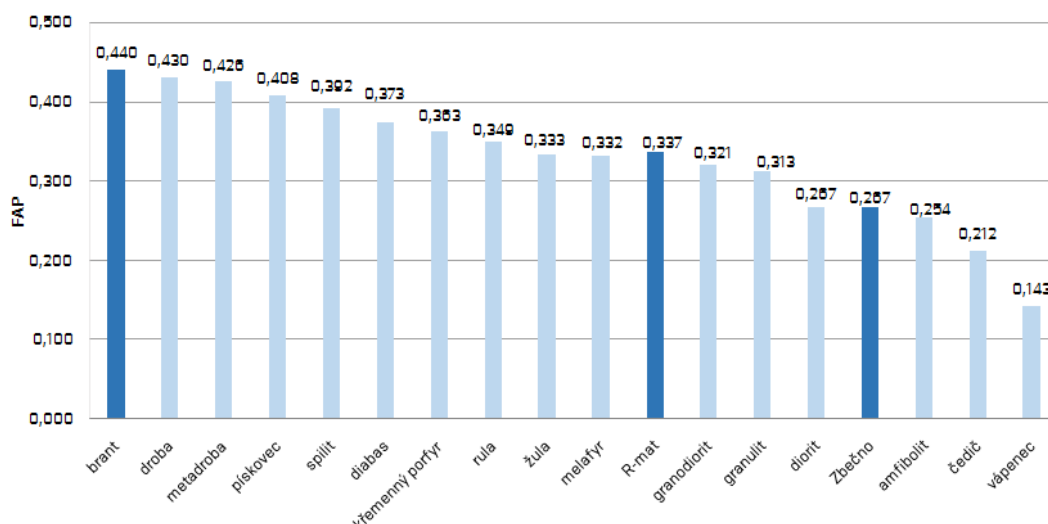
Graf 2: Součinitele tření μ_{FAP} zkušebních vzorků

Vyhodnocení:

Pro získání součinitele tření FAP byl nejprve spočítán rozdíl Δ součinitele tření po ohlazení dvou vzorků stejného kameniva. Tento rozdíl nesměl být dle normy ČSN EN 12697-49 větší než 0,03. Žádný vzorek tak nemusel být vyřazen, protože splňoval kritéria daná normou.

Spor mohl nastat u rozdílu mezi vzorky R-mat. 8/11 I. a R-mat. 8/11 III a vzorky Brant 8/11 I. a Brant 8/11 II. Tento rozdíl obou vzorků byl 0,024, tato hodnota už mohla být považovaná za hraniční, ale i přesto byla stále menší než 0,03, tím pádem mohly tyto vzorky vstoupit do výpočtu FAP.

Nejlepších výsledků dosáhlo kamenivo z lokality Brant, který se řadí dle výsledného součinitele tření po ohlazení $FAP = 0,443$ mezi kameniva s nejvyššími hodnotami FAP. Nejhorších výsledků dosáhlo kamenivo z lokality Zbečno, $FAP = 0,267$, viz graf 4.



Graf 3: Hodnoty FAP kameniva μ_{FAP} ⁴ [43]

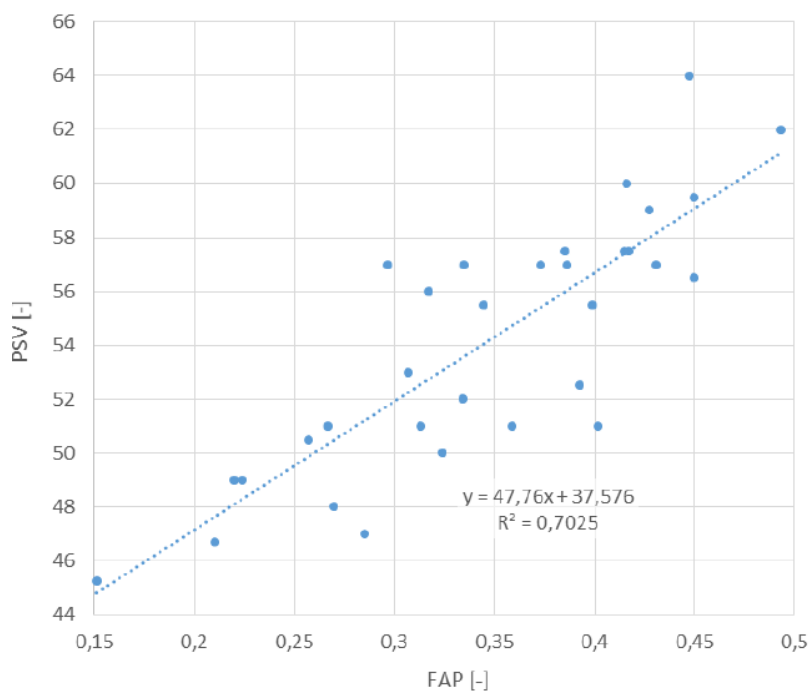
Hodnoty FAP byly ovšem jen pro informaci. Lepší hodnoty vypovídající o kvalitě součinitele tření na pozemních komunikacích byly na vyvrtaných tělesech z desek. Ty lépe simulovaly reálné podmínky skutečné obrusné vrstvy, díky obsahu různých druhů a frakcí kameniva.

V rámci diplomové práce byla možnost nahlédnout do doloženého protokolu od jednotlivých výrobců kameniva, kde hodnota ohladitelnosti PSV (Polished Stone Value) u kameniva Brant činila PSV = 60 a u kameniva Zbečno byla PSV = 53.

Byl také proveden orientační přepočítání hodnot FAP na hodnoty PSV. Pro přepočítání byly použity výsledky výzkumu, kde byly měřeny hodnoty FAP a PSV vzorků kameniv z různých lomů v rámci celé ČR, viz graf 4. Pomocí lineární korelace byl stanoven vztah mezi FAP s PSV, viz graf 5.

Výpočet byl proveden podle vztahu z grafu 5.

⁴ Hodnoty součinitele tření FAP jsou průměry jednotlivých druhů kameniv z více různých lomů v České republice.



Graf 4: Srovnání výsledků FAP a PSV ⁵ [43]

Po přepočtu hodnoty FAP u kameniva z lokality Brant vyšla hodnota PSV = 58 a z kameniva z lokality Zbečno byla tato hodnota PSV = 50, viz tab. 8. Tyto hodnoty se neshodovaly s hodnotami udávanými výrobcí, což mohlo být způsobeno odběrem z jiné etáže v lomu. Je nutno zdůraznit, že tyto hodnoty byly pouze orientační.

Tabulka 8: Hodnoty FAP a PSV

Vzorek	Druh Horniny	FAP	PSV	PSV vypočtené z FAP
Brant	Žulový porfyr	0,43	60	58
Zbečno	Spilit	0,267	53	50
R-materál	nehomogenní, viz. tab.3	0,337	-	54

Průběh zkoušky pro stanovení součinitele tření všech zkušebních těles jsou uvedeny v přílohách této diplomové práce.

⁵ V grafu 5 je srovnání naměřených hodnot PSV a FAP u 32 vzorků kameniva. Podle hodnoty koeficientu determinace nebyl vztah mezi PSV a FAP ideální. Podrobné výsledky ale ukázaly na nižší spolehlivost původního zkušebního postupu podle ČSN EN 1097-8, protože jednotlivé hodnoty PSV na stejném vzorku měly větší rozptyl než u nového typu zkoušky s hodnotou FAP. [43]

2.3 Návrh asfaltové směsi

Navrhovaná asfaltová směs byla pro ohrusnou vrstvu ACO 11.

2.3.1 Návrh asfaltové směsi bez R-materiálu

Návrh asfaltové směsi ACO 11 musel splňovat požadavky dle normy *ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton, viz tab. 9.*

Tabulka 9: Požadavky na asfaltové směsi ohrusných vrstev [16]

Tabulka NA-E.5.1 – Požadavky na asfaltové směsi obrusných vrstev

Obrusné vrstvy									
Typ	S		+		bez označení		CH		
Označení směsi ACO	11 S, 16 S		11 +, 16 +		8, 11, 16		8 CH		
Počet úderů Marshallova pěchu	2 × 75		2 × 50		2 × 50		2 × 50		
Všeobecné požadavky									
Zrntost / síto (mm) ¹⁾	ACO 11 S	ACO 16 S	ACO 11 +	ACO 16 +	ACO 8	ACO 11	ACO 16	ACO 8CH	
22,4	–	100	–	100	–	vz ACO 11+	vz ACO 16+	–	
16	100	90–100	100	90–100	–			–	
11,2	90–100	–	90–100	–	100			100	
8	68–80	60–75	70–90	52–80	90–100			90–100	
4	40–56	38–55	42–68	31–61	53–80			55–80	
2	29–42	26–40	24–49	20–45	30–55			35–60	
0,125	6–13	5–12	4–14	4–12	4–16			4–16	
0,063	5–10	4–9	3–11	3–10	3–12			3–12	
Minimální mezerovitost V_{min} (%) ²⁾	2,5 (2,0)		2,5 (2,0)		2,5 (2,0)		1,5 (1,0)		
Maximální mezerovitost V_{max} (%) ²⁾	4,0 (5,5)		4,5 (6,0)		4,5 (6,0)		4,0 (6,0)		
Minimální poměr pevnosti v příčném tahu $ITSR$ (%) ³⁾	80		70		–		–		
Maximální poměrná hloubka koleje PRD_{AAR} (%) ⁴⁾ po 5 000 cyklech	5,0		$PRD_{deklarovaná}$ ⁵⁾		–		–		
Maximální přírůstek hloubky koleje WTS_{AAR} (mm/10 ³ cyklů) ⁴⁾	0,07		$WTS_{deklarovaná}$ ⁵⁾		–		–		
Mezní hodnoty teploty asfaltové směsi pro silniční asfalty (°C) ⁵⁾	30/45 = 155 °C – 195 °C, 35/50 a 40/60 = 150 °C – 190 °C, 50/70 a 70/100 = 140 °C – 180 °C, 100/150 = 130 °C – 170 °C								
Maximální podíl DTK nebo STK ve směsi kameniva (%)	10 %		15 %		20 %		–		
Empirické požadavky									
Minimální obsah rozpustného pojiva B_{min} (% hm.) ⁶⁾	5,4	5,0	5,6	5,2	6,0	vz ACO 11+	vz ACO 16+	6,2	
Minimální obsah rozpustného pojiva B_{vol} (% obj.) ⁷⁾	12,5	11,8	13,0	12,2	13,8			–	
Minimální stupeň vyplnění mezer VFB_{min} (%) ⁸⁾	–		75		75			–	
Maximální stupeň vyplnění mezer VFB_{max} (%) ⁸⁾	–		83		86			–	

¹⁾ Při různé objemové hmotnosti HDK a DDK (SDK) lze čísla zrnitosti vyhodnocovat v % objemu.

²⁾ Mezerovitost zhrutněné asfaltové směsi a stupeň vyplnění mezer směsi se stanoví podle ČSN EN 13108-20:2008, tabulka B.1, řádek 3. Hodnoty v závorkách platí pro kontrolní zkoušky.

³⁾ Stanovení odolnosti vůči vodě se provede podle ČSN 13108-20:2008, tabulka B.1, řádek 7.

⁴⁾ Zkouška odolnosti proti tvorbě trvalých deformací se provede podle ČSN 13108-20:2008, tabulka D.1, řádek 4.

⁵⁾ Uvedené minimální a maximální teploty nemají být překročeny na žádném místě obalovny. Teploty pro modifikované asfalty se řídí podle údajů výrobce.

⁶⁾ Minimální hodnota obsahu asfaltu se násobí korekčním faktorem $\alpha = 2,850/\rho_b$, kde ρ_b je objemová hmotnost kameniva v Mg/m³ stanovená podle EN 1097-6.

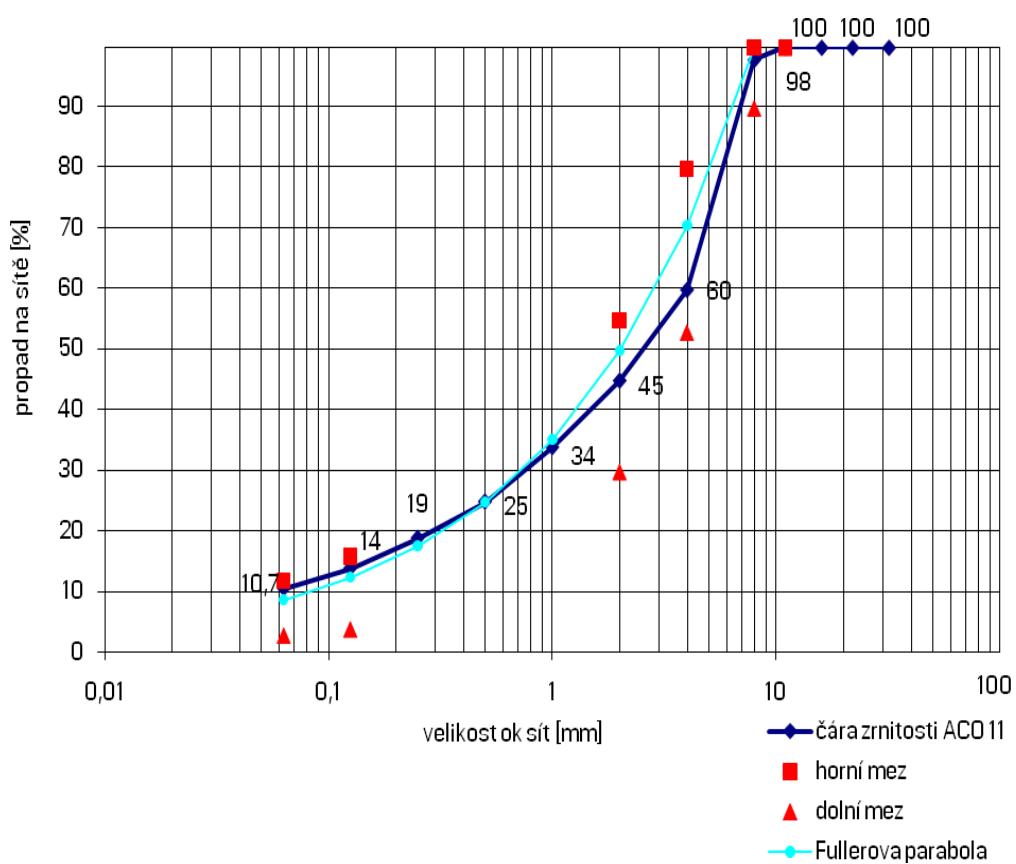
⁷⁾ Obsah asfaltu v % objemu se vypočítá podle vzorce $B_{vol} = \rho_b \times B/1,020$ (%), kde ρ_b je objemová hmotnost zhrutněné směsi (Mg/m³), B je obsah asfaltu v % hmotnosti, 1,020 je objemová hmotnost asfaltového pojiva (Mg/m³).

⁸⁾ Doporučené hodnoty.

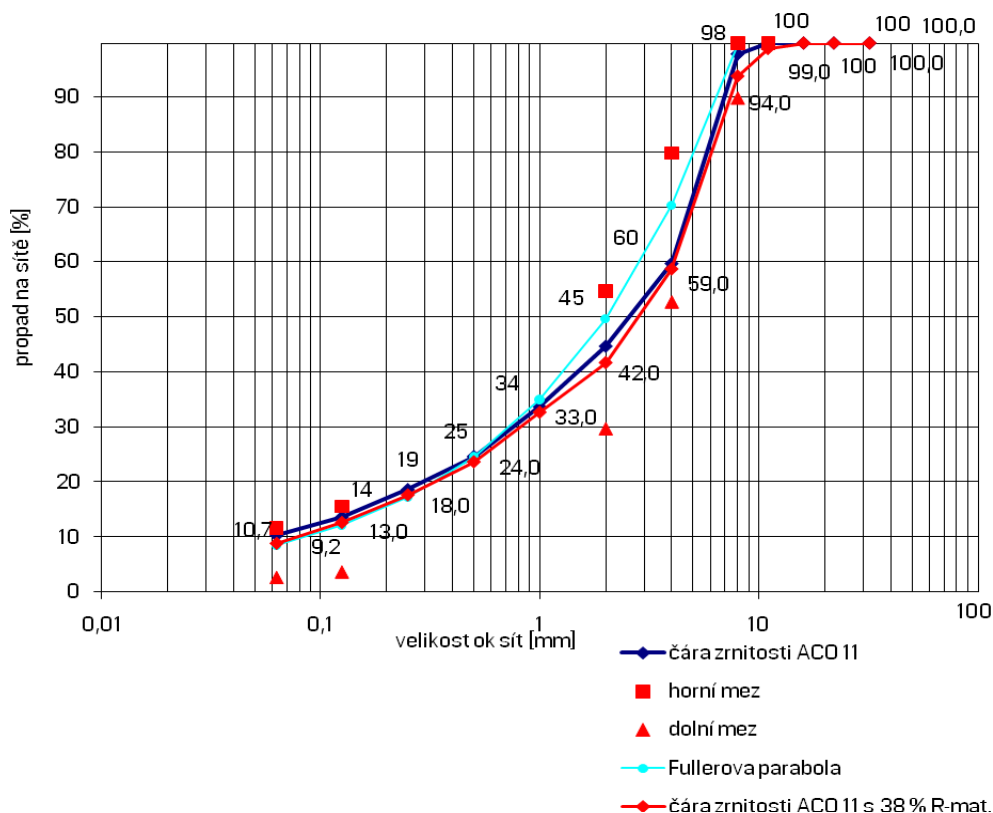
⁹⁾ Hodnota se deklaruje pouze pro TDZ II nebo pro pomalou a zastavující dopravu pro TDZ III, v obou případech pouze při použití nemodifikovaného pojiva.

Tabulka 10: Návrh množství kameniva a asfaltového pojiva v asfaltové směsi

	ACO 11			ACO 11 s 38 % R-materiálu	
Frakce	1. návrh	2. návrh	3. návrh	1. návrh	2. návrh
8/11	18,0 %	16,0 %	6,0%	10,0 %	6,4 %
4/8	17,0 %	15,0 %	44,0%	4,0 %	35,0 %
2/5	20,0 %	20,0 %	20,0%	4,0 %	4,8 %
0/2	42,5 %	45,0 %	15,0%	34,5 %	4,8 %
Váp. moučka	2,5 %	4,0 %	15,0%	7,5 %	12,7 %
R-materiál	-	-	-	40,0 %	38 %
Asfaltové pojivo	5,8 %	6,1 %	6,1 %	5,8 %	5,8 %



Graf 5: Čára zrnitosti ACO 11



Graf 6: Čára zrnitosti ACO 11 a ACO 11 + 38 % R-materiálu

2.3.2 Výroba asfaltové směsi bez obsahu R-materiálu

Frakce kameniva a vápencová moučka se navázila podle hmotnosti jednotlivých frakcí dané navrhovanou recepturou. Současně se do další sušárny umístilo asfaltové pojivo (polymer modifikovaný asfalt) a nechalo se temperovat na mísící teplotu 170 °C. [20]



Obrázek 32: Příprava kameniva pro výrobu asfaltové směsi

Nádoba s navážkou byla přemístěna na váhu, která se vytárovala. Podle receptury asfaltové směsi se vřilo přesné množství asfaltového pojiva. Aby nedocházelo k teplotním ztrátám, vložila se nádoba na varnou desku.

Směs se neustále míchala špachtlí, do doby než byla všechna zrna dokonale obalena asfaltem. Hotová směs se vsypala do speciálně upravené misky se zkosenými čelními hranami a znovu se vložila do pece, kde se ohřívala na hutnicí teplotu 165 °C. Po dosažení teploty byla asfaltová směs připravená k výrobě Marshallových těles.



Obrázek 33: Výroba asfaltové směsi

2.3.3 Výroba asfaltové směsi s obsahem R-materiálu

Při výrobě asfaltové směsi s obsahem R-materiálu se postupovalo obdobně jako při výrobě asfaltové směsi bez R-materiálu.

Kamenivo potřebné pro výrobu asfaltové směsi bylo vysušené při teplotě 110 °C. Poté se navážilo dle navržené receptury a vložilo se do laboratorní sušárny temperovat na teplotu 170 °C.

R-materiál se také naváží dle receptury a nechá se v sušárně ohřívat na teplotu 130°C. Tato teplota by měla simulovat reálnou situaci přidání R-materiálu pomocí paralelního bubnu na obalovně. V paralelním bubnu šaržové obalovny se R-materiál ohřívá na teplotu cca 120°C - 130 °C, tím je umožněno vyšší procento jeho dávkování.

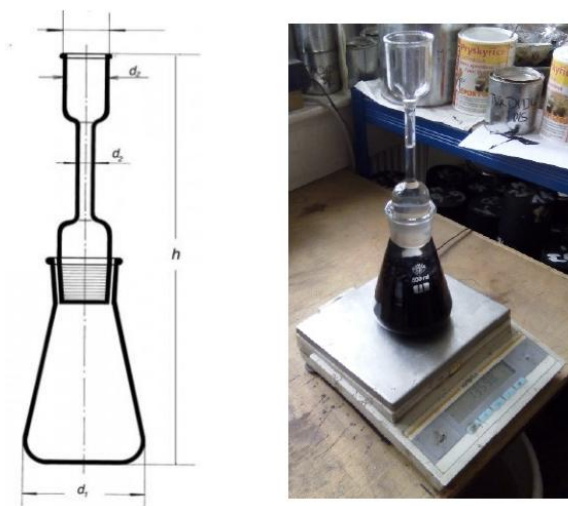
Při dosažení teploty 130 °C se do navážky R-materiálu musí vmíchat rejuvenační přísada (oživovač). Rejuvenační přísada dokáže zdárně zregenerovat zoxidované asfaltové pojivo. Dávkuje se do rozehřátého R-materiálu a důkladně se promíchá. Obsah rejuvenační přísady v R-materiálu je 0,4 % z hmotnosti navážky R-materiálu.

Navážka se vrátila zpět do sušárny a nechala se nahřát na mísící teplotu 130 °C. Poté se navážka R-materiálu a navážka kameniva smísila. Postup byl pak stejný jako výroba asfaltové směsi bez R-materiálu, viz kap. 2.3.1.

2.4 Stanovení maximální objemové hmotnosti

Maximální objemová hmotnost je hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu asfaltové směsi bez mezer. [23]

Maximální objemová hmotnost se vypočítala pomocí volumetrického postupu. Tento postup vycházel z objemu vzorku, u kterého se měřil objem vody či rozpouštědla vytěsněného v pyknometru viz obr. 34.



Obrázek 34: Tvar a popis pyknometru

PRŮBĚH ZKOUŠKY POMOCÍ PYKNOMETRU

Zvážila se hmotnost prázdného pyknometru s nástavcem (m_1) o známém objemu (V_p). Do pyknometru se vsypal vysušený vzorek asfaltové

směsi a znovu se zvážil (m_2). Poté se pyknometr se směsí zalil rozpouštědlem zhruba 30 mm pod okraj rysky nástavce. Pyknometr se vložil do laboratorní lázně, která měla teplotu 25 ± 1 °C a nechal se temperovat 1,5 až 2 hodiny. Po uplynutí doby se dolilo zbývající rozpouštědlo do pyknometru až po rysku nástavce. Důležité bylo, aby dolívané rozpouštědlo mělo stejnou teplotu jako v pyknometru. Poté se vytáhl pyknometr z lázně a osušil. Po osušení se znovu zvážil a stanovila se hmotnost (m_3).

POSTUP VÝPOČTU PŘI VOLUMETRICKÉ METODĚ

Maximální objemová hmotnost asfaltové směsi ρ_{mv} se vypočítala pomocí rovnice s přesností na 1 kg/m³.

VZTAH PRO VÝPOČET MAXIMÁLNÍ OBJEMOVÉ HMOTNOSTI:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{1000 \cdot \left(V_p - \frac{m_3 - m_2}{\rho_{mv}} \right)} \quad (5)$$

ρ_{mv} - je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v [kg/m³] s přesností 0,1[kg/m³]

m_1 - hmotnost pyknometru a nástavce [g]

m_2 - hmotnost pyknometru, nástavce a zkušební vzorku [g]

m_3 - hmotnost pyknometru, nástavce, zkušební vzorku a rozpouštědla [g]

V_p - objem pyknometru i s nástavcem [m³]

ρ_{mv} - hustota vody při zkušební teplotě v [kg/m³] s přesností 0,1 [kg/m³]

Dle postupu uvedeného v této kapitole byla vypočítaná maximální objemová hmotnost.

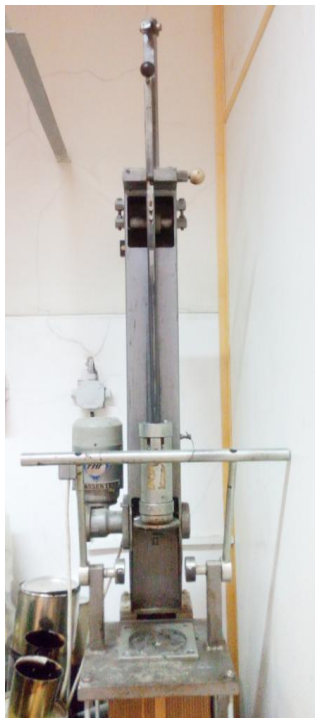
Tabulka 11: Stanovení maximální objemové hmotnosti

Označení pyknometru	IV.					
Označení vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]	m_3 [g]	V_p [m ³]	Navážka asf. Směsi[g]	ρ_{mv} [kg/m ³]
ACO 11	690,6	1526,9	3129,1	1323,097	836,3	2529,23
ACO 11 + 38 R-mat.	690,7	1587,4	3153,5	1323,097	896,7	2540,12

2.5 Výroba Marshallových těles

Objemová hmotnost a mezerovitosti asfaltové směsi se určila pomocí Marshallových těles.

Tělesa se vyráběla v rázovém zhutňovači dle normy ČSN EN 12697-30 *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem*, viz obr 35.



Obrázek 35: Rázový zhutňovač

POSTUP VÝROBY MARSHALLOVÝCH TĚLES

Při požadované hutnící teplotě (165 °C) se asfaltová směs vyndala ze sušárny a nasypala se do vyhřáté formy určené pro Marshallovo těleso. Z obou stran musel být vložen separační papír, aby se směs nepřichytila na dno podložky či úderník zhutňovače.

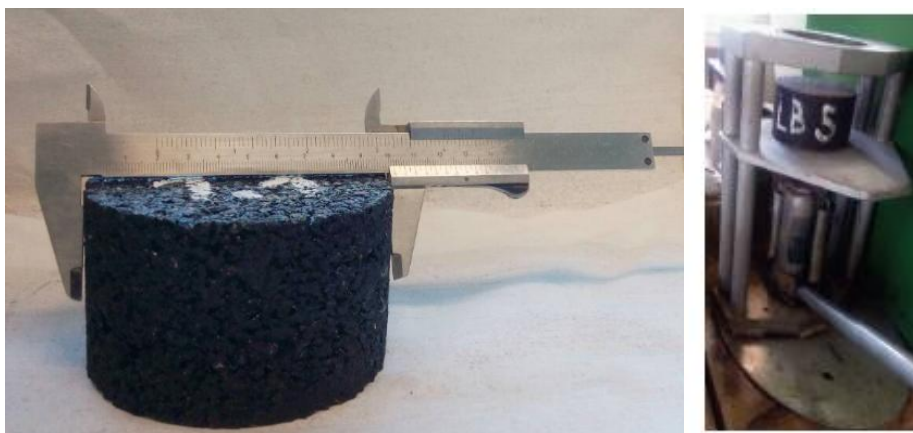
Forma se vložila do zhutňovače, vycentrovala se pomocí výlisků zhutňovače a uchytila se odstředivou vačkou. Spustila se rázová zkouška. Po 50 úderech se vzorek otočil a znovu se vystavil rázové zkoušce také 50 úderům.



Obrázek 36: Forma pro výrobu Marshallových těles

Při hutnění se na povrch směsi spustil hutnicí pěch skládající se z vodící tyče, hutnicího beranu a bicí hlavy. Zhutňovač funguje na principu pohonného řetězu, který zdvihá a spouští hutnicí beran z výšky cca 460 mm. Hutnicí beran klesá po vodící tyči na bicí hlavu, která tak zhutňuje asfaltovou směs. [27]

Po zhutnění, které by nemělo přesáhnout 4 min, se forma i se vzorkem vložila pod ventilátor. Ventilátor vzorek ochlazuje vzduchem po dobu cca 45 minut. Jakmile bylo možné na povrchu formy udržet ruku, vložil se do lisu, viz obr. 37 - vpravo. Pomocí páky lisu se vytlačilo zhutněné Marshallovo těleso, viz obr. 37 - vlevo.



Obrázek 37: Marshallovo těleso (vlevo), lis s Marshallovým tělesem (vpravo)

Vzniklé těleso byl válec o výšce $63,5 \pm 2,5$ mm a průměru $101,6 \pm 0,1$ mm. Takto vzniklé těleso bylo potřeba správně označit, aby se předešlo možné záměně těles při následném měření výšky a průměru tělesa. Například pomocí latexové bílé barvy. [25]

V rámci diplomové práce byla vyrobena vždy 3 Marshallova tělesa pro každý návrh směsi ACO 11 s, nebo bez R-materiálu. Tato tělesa byla označena příslušným číslem podle výroby. Výšky a průměry jednotlivých Marshallových těles jsou uvedeny v tabulce 12 a tabulce 13.

Tabulka 12: Rozměry a hmotnost Marshallových těles bez obsahu R-materiálu

Zkušební těleso označení		3.1	3.2	3.3	Průměr
Výška	mm	63,00	65,10	63,80	63,93
		63,00	64,90	63,80	
		63,00	64,90	63,90	
Ø Výška	mm	63,00	64,97	63,83	63,93
Průměr	mm	102,10	102,60	102,40	102,40
		102,30	102,40	102,50	
		102,20	102,50	102,60	
Ø Průměr	mm	102,20	102,50	102,50	102,40

Tabulka 13: Rozměry a hmotnost Marshallových těles s R-materiálem

Zkušební těleso označení		R.1	R.2	R.3	Průměr
Výška	mm	63,00	62,08	62,50	62,60
		62,93	61,97	62,58	
		63,08	62,50	62,75	
Ø Výška	mm	63,00	62,18	62,61	62,60
Výška	mm	101,20	102,00	101,50	101,54
		101,20	101,90	101,40	
		101,20	101,90	101,50	
Ø Výška	mm	101,20	101,90	101,50	101,54

2.6 Stanovení objemové hmotnosti

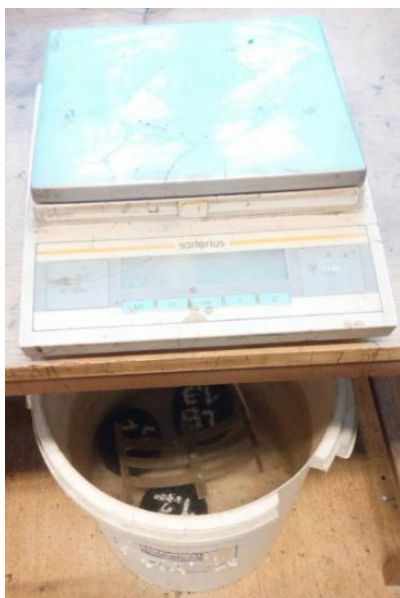
Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi byla provedena na každém Marshallovém tělese. Výsledky byly průměrovány.

Zkouška stanovení objemové hmotnosti se určuje podle ČSN EN 12697-6+A1. [24]

PRŮBĚH ZKOUŠKY NA MARSHALLOVÝCH TĚLESECH

Stanovila se hmotnost suchého a vychladlého Marshallova tělesa (m_1). Byla změřená počáteční teplota vody. Těleso se ponořilo do vodní lázně. Ve vodní lázni se Marshallovo těleso nechalo dostatečně dlouho sytit vodou (cca 30 minut), dokud se jeho hmotnost po nasycení neustálila na konstantní teplotu. [24]

Po uplynutí cca půl hodiny se nasycený vzorek položil na rameno váhy tak, že byl plně ponořený pod hladinu vody a nedotýkal se stěn nádoby, viz obr 38.



Obrázek 38: Marshallova tělesa ponořena ve vodní lázni

Po ustálení hmotnosti se zapsala hmotnost ponořeného tělesa (m_2). Těleso se vytáhlo, povrchově osušilo, znovu se zvažilo a stanovila se jeho

hmotnost (m_3), hodnoty naměřené v diplomové práci jsou uvedené v tab. 14 a tab. 15. [24]

Tabulka 14: Hmotnost Marshallových těles bez R-materiálu

Zkušební těleso označení		3.1	3.2	3.3	Průměr
m_1	[g]	1241,2	1238,4	1235,4	1235,4
m_2		737,3	731,3	729,3	729,3
m_3		1242,6	1241,6	1236,9	1236,9

Tabulka 15: Hmotnost Marshallových těles s 38 % R-materiálem

Zkušební těleso označení		R.1	R.2	R.3	Průměr
m_1	[g]	1245,6	1271,2	1263,0	1263,0
m_2		741,7	756,6	749,1	749,1
m_3		1248,1	1273,6	1265,0	1265,0

POSTUP VÝPOČTU OBJEMOVÉ HMOTNOSTI

Objemová hmotnost se stanovila na 1 [kg/m³].

VZTAH PRO VÝPOČET OBJEMOVÉ HMOTNOSTI POMOCÍ MARSHALLOVÝCH TĚLES:

$$Q_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot Q_w$$

(6)

ρ_{bssd} - je objemová hmotnost SSD [kg/m³]

m_1 - hmotnost suchého tělesa [g]

m_2 - hmotnost tělesa ve vodě [g]

m_3 - hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného [g]

ρ_w - je hustota vody [kg/m³]⁶

⁶ Hustota vody ρ_w je zaznamenána v tabulce 16 v závislosti na teplotě vody.

Tabulka 16: Hustota vody při dané teplotě

Teplota vody [°C]	Hustota vody (ρ_w) [kg/m ³]	Teplota vody [°C]	Hustota vody (ρ_w) [kg/m ³]
15	999,2	23	997,6
16	999,0	24	997,4
17	998,8	25	997,1
18	998,7	26	996,8
19	998,5	27	996,6
20	998,3	28	996,3
21	998,1	29	996,0
22	997,8	30	995,7

Objemová hmotnost ACO 11 bez obsahu R-materiálu je zaznamenána v tabulce 17. Objemová hmotnost ACO 11 s obsahem 38 % R-materiálem je zaznamenána v tabulce 18.

Výsledky:

Tabulka 17: Objemová hmotnost ACO 11 bez R-materiálu (teplota vody 20,2 °C)

Zkušební těleso označení	Objemová hmotnost $\rho(bssd)$ [kg/m ³]
3.1	2451,6
3.2	2422,1
3.3	2429,1
Průměr	2425,6

*Tabulka 18: Objemová hmotnost ACO 11 s 38,3 % R-materiálem
(teplota vody 19,5 °C)*

Zkušební těleso označení	Objemová hmotnost $\rho(bssd)$ [kg/m ³]
R.1	2455,8
R.2	2454,9
R.3	2444,2
Průměr	2449,5

2.7 Stanovení mezerovitosti

Mezerovitost ve zhutněné asfaltové směsi stanovuje objem dutin a póru mezi zrny kameniva zhutněné směsi včetně vzduchu vyplňující mezery. Vypočítala se na základě známé maximální objemová hmotnosti asfaltové směsi, viz kapitola 2.4, a objemové hmotnosti zhutněné směsi, směsi, viz kapitola 2.6. Mezerovitost je vyjádřena v [%]. [22]

VZTAH PRO VÝPOČET MEZEROVITOSTI:

$$M = \left(1 - \frac{\rho_{bssd}}{\rho_{mv}}\right) \cdot 100 [\%]$$

(7)

ρ_{bssd} - je objemová hmotnost SSD [kg/m³]

ρ_{mv} - je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi v [kg/m³] s přesností na 0,1 kg/m³

Výsledky stanovených mezerovitostí pro jednotlivé asfaltové směsi jsou obsažené v tab. 19.

Tabulka 19: Mezerovitost asfaltové směsi dle návrhu

Směs	Návrh	Mezerovitost
ACO 11	1. návrh	12,2 %
	2. návrh	5,7 %
	3. návrh	4,0 %
ACO 11 s 38 % R-materiálem	1. návrh	2,1 %
	2. návrh	3,6 %

Vyhodnocení:

Výsledné hodnoty mezerovitosti jednotlivých návrhů asfaltových směsí, viz tab. 21. Z počátku návrhy nesplňovaly požadavky na mezerovitost dle normy *ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*. Kde tato hodnota u ACO 11 je požadovaná v rozmezí 2,5 % - 4,0 %. Z tohoto důvodu byla upravena křivka zrnitosti. Znovu byla vytvořena

Marshalova tělesa a vypočtena maximální objemová hmotnost. Až třetí návrh u ACO 11 a druhý návrh u ACO 11 s R-materiálem splnil požadovaná kritéria dané normou *ČSN EN 13108-1*. [16] Konečná receptura navážky se nachází v kapitole 2.3.1

Z této receptury se dále vycházelo pro následný návrh asfaltové směsi ACO 11 na výrobu desky bez R-materiálu a s obsahem 38 % R-materiálu.

2.8 Laboratorní výroba desky

Pro každou asfaltovou směs byly vyrobeny 3 zkušební desky. Půdorysné rozměry nejen formy, ale i vyrobené desky jsou 260 x 320 x 40 mm. Výška 40 mm byla zvolena, kvůli následnému vývrtu a upevnění vyvrtaného vzorku do formy zařízení pro měření součinitele tření po ohlazení.

NÁVRH DESKY

Při návrhu desky se vycházelo z vypočtené objemové hmotnosti a mezerovitosti hutněné asfaltové směsi a dle křivky zrnitosti.

VZTAH PRO VÝPOČET HMOTNOSTI ASFALTOVÉ SMĚSI:

$$m = a * b * h * \rho_{bssd}$$

(8)

m - potřebná hmotnost asfaltové směsi [kg]

a, b, h - rozměry vyráběné desky [m]

ρ_{bssd} - objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi [kg/m³]

VÝROBA ASFALTOVÉ SMĚSI BEZ R-MATERIÁLU

Nejdříve se musela vyrobit asfaltová směs, postupovalo se stejně jako v kapitole 2.3.1 a kapitole 2.3.2. Dle návrhu receptury se navážilo potřebné hmotnosti jednotlivých frakcí kameniva z lokality Zbečno, kameniva z lokality Brant a vápencové moučky, viz tab. 20.

Tabulka 20: Návrh receptury ACO 11 bez R-materiálu

ACO 11 - Návrh desky			
Výrobce	Frakce	[%]	Hmotnost [g]
Vápencová moučka	moučka	6	473,3
Zbečno	0/2	44	3470,5
Zbečno	2/5	20	1577,5
Zbečno	4/8	15	1183,1
Brant	8/11	15	1183,1
	pojivo	6,1	512,4
Hmotnost navážky			8400

Navážky se vložily do sušárny a temperovaly se na požadovanou teplotu míchání asfaltové směsi. V diplomové práci byla teplota míchání zvolena 170°C. Teplota se kontrolovala pomocí čidla digitálního teploměru.

Po dosažení teploty se navážka kameniva vsypala do pekáče laboratorní míchačky a přililo se potřebné množství asfaltového pojiva. Pekáč se vložil do laboratorní míchačky, kde se kamenivo i s pojivem rovnoměrně promíchalo. Když byla obalena všechna zrna, míchačka se zastavila a přisypalo se přesné množství vápenné moučky a znovu se spustila. Tento proces trval jen několik minut, aby nedocházelo ke zbytečné teplotní ztrátě namíchané asfaltové směsi.

Hotová asfaltová směs se vložila do laboratorní sušárny a nechala se temperovat na hutnící teplotu 165 °C.

VÝROBA ASFALTOVÉ SMĚSI S 38 % OBSAHEM R-MATERIÁLU

Postup byl obdobný jako u výroby asfaltové směsi bez R-materiálu. Podle receptury se navážilo potřebné množství jednotlivé frakce kameniva z lokality Zbečna, kameniva z lokality Brant, vápencové moučky a R-materiálu, viz tab. 21.

Tabulka 21: Návrh receptury ACO 11 s 38 % R-materiálem

ACO 11 s 38 % R-materiálu- Návrh desky			
Výrobce	Frakce	[%]	Hmotnost [g]
Vápencová moučka	moučka	6,4	503,7
Zbečno	0/2	35	2770,3
Zbečno	2/5	4,8	377,8
Zbečno	4/8	4,8	377,8
Brant	8/11	12,7	1007,4
R-materiál	RAP	38,0	3025,4
	pojivo	5,8	337,7
Hmotnost navážky			8400

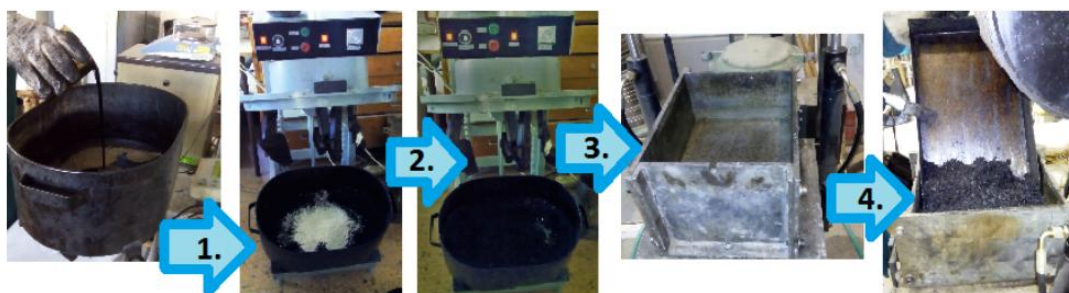
Kamenivo a vápencová moučka se vložila do sušárny, kde se nechaly temperovat na mísící teplotu 170 °C, R-materiál se vložil do jiné sušárny než kamenivo, kvůli rozdílné mísící teplotě a to 130 °C.

Při dosažení teploty 130 °C se do navážky R-materiálu vmíchala rejuvenační přísada (oživovač). Navážka se vrátila zpět do sušárny a nechala se nahřívat na mísící teplotu 130 °C.

Poté proces výroby asfaltové směsi byl stejný jako u výroby asfaltové směsi bez R-materiálu.

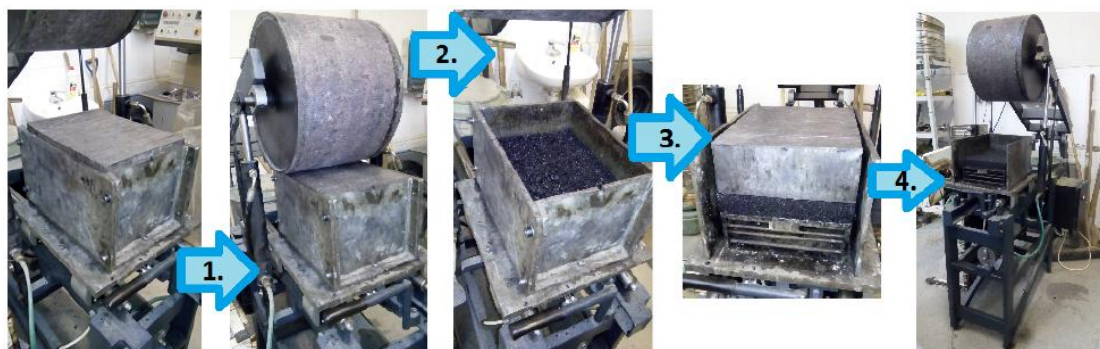
VÝROBA DESKY POMOCÍ LAMELOVÉHO ZHUTŇOVAČE

Po zahřátí na požadovanou teplotu se asfaltová směs rovnoměrně rozprostřela pomocí lopatky do formy zhutňovače, viz obr. 39. Důležité je, aby stěny formy byly opatřeny separačním prostředkem, kvůli možnému zachycení horké asfaltové směsi na stěny formy. Pod podkladní desku se vložil distanční rámečky o různé síle vymezující tloušťku desky. Pro zkoušku měření součinitele tření po ohlazení postačila tloušťka desky 40 mm. Na asfaltovou směs se položil ocelový plech o tloušťce 2 mm, který byl též opatřen separační vrstvou. Na plech se naskládali jednotlivé ocelové lamely 260 x 100 x 15 mm. Na lamely se spustil ocelový válec, který mechanickým pohybem pojížděl lamely tam a zpět. Lamely byly postupně zatlačovány konstantní silou až po dosednutí válce na rám formy. Válec simuloval pojezd reálného vibračního válce bez vibrací na netuhé vozovce. [26]



Obrázek 39: Výroba asfaltové směsi a její vsypání do formy zhutňovače desek

Po dosednutí válce na okraj formy se vypnul zhutňovač po dobu cca jedné minuty, kvůli uvolnění vzniklého napětí ve směsi. Poté se znovu spustil a pro výsledné dohutnění, viz obr. 40. Zkušební těleso se nechalo vychladnout a poté se odebralo z formy, viz obr. 41.



Obrázek 40: Výroba desky pomocí zhutňovače desek



Obrázek 41: Zkušební těleso

Na vychladlém zkušebním tělese se stanovila již zmíněná objemová hmotnost, mezerovitost a míra zhutnění. Míra zhutnění je požadovaná v rozmezí 98 % až 102 %.



Obrázek 42: Zkušební těleso ponořené ve vodní lázni

*Tabulka 22: Objemová hmotnosti zkušebního tělesa bez R-materiálu
(teplota vody 21,5 °C)*

Zkušební těleso označení	Objemová hmotnost $\rho(\text{bssd})$ [kg/m ³]
1.1	2435,7
1.2	2443,8
1.3	2447,9
Průměr	2442,4

*Tabulka 23: Objemová hmotnost zkušebního tělesa s 38 % R-materiálem
(teplota vody 21,2 °C)*

Zkušební těleso označení	Objemová hmotnost $\rho(\text{bssd})$ [kg/m ³]
R.1	2457,8
R.2	2447,3
R.3	2445,0
Průměr	2450,0

Tabulka 24: Vypočítaná mezerovitost zkušebních těles

Zkušební těleso označení	Maximální objemová hmotnost ρ_{mv} [kg/m ³]	Objemová hmotnost $\rho(\text{bssd})$ [kg/m ³]	Mezerovitost [%]
ACO 11	2529,0	2442,4	3,4
ACO 11 + 38 % R-mat.	2540,0	2450,0	3,5

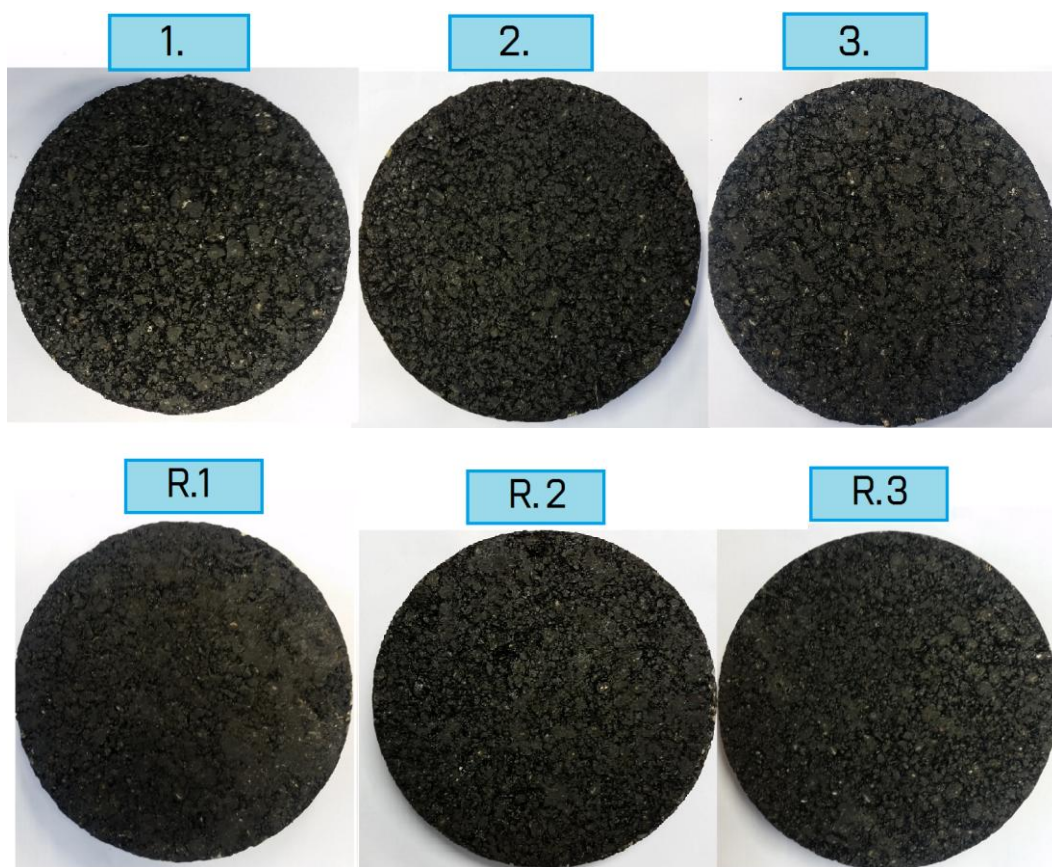
Vyhodnocení:

Vypočítaná mezerovitost zkušebních těles činí 3,4 % a 3,5 % což odpovídá kritériím dle platné normy ČSN EN 13108-1. [16]

Všechna zkušební tělesa splňují míru zhutnění, která u žádného tělesa nepřesáhla hodnoty 98 % - 102 %.

2.9 Měření součinitele tření po ohlazení

Z vyrobené desky viz kap. 2.8, byla vyvrtána zkušební tělesa o průměru 225 mm. Celkem bylo vyvrtáno 6 zkušebních těles, z toho 3 vývrty z asfaltových desek typu ACO 11 a 3 vývrty z asfaltových desek typu ACO 11 s obsahem 38 % R-materiálu, viz obr. 43.



Obrázek 43: Zkušební tělesa

Zkušební těleso bylo uchyceno do formy zařízení pro měření součinitele tření po ohlazení, viz obr. 44. Poté byla spuštěna zkouška. Metoda měření součinitele tření po ohlazení byla podrobněji popsána v kapitole 1.2.1.



*Obrázek 44: upevnění zkušebního tělesa z desky do formy
laboratorního zařízení*

Zkouška probíhala ve dvou fázích. První fází bylo zjištění počátečních hodnot součinitele tření μ_{FAP} povrchu zkušebních těles. V druhé fázi bylo provedeno dlouhodobé měření, tzv. předpověď protismykových vlastností povrchu zkušebního tělesa. Dlouhodobé měření bylo vhodné k posouzení vývoje protismykových vlastností povrchu vozovky v čase. Průběh hodnot součinitele tření μ_{FAP} měřený na všech zkušebních tělesech z asfaltové směsi typu ACO 11 bez R-materiálu a s R-materiálem, viz tab. 25 a tab. 26.

V tabulkách lze vidět výpočet rozdílu Δ mezi měření μ_{FAP} . Tento rozdíl nesměl být větší než 0,03 podle kritérií normy ČSN EN 12697-49. Měření, které nesplňovalo tuto normu, je v tab. 25 a tab. 26 zvýrazněno **ČERVENĚ**. Ze srovnání byla vyřazena zkušební tělesa **ACO 11_II** a **ACO 11 + 38 % R-mat._III**, protože se většina měřených hodnot lišila o více než 0,03 od dalších zkušebních těles. Poté se provedl výpočet FAP, což byl průměr platných hodnot součinitelů tření μ_{FAP} . Průměr byl tedy stanoven vždy jen ze dvou zkušebních těles pro každou asfaltovou směs. I u těchto zkušebních těles rozdíl mezi měřenými hodnotami v některých případech překročil hodnotu dovolenou normou. Týkalo se to ale především měření v počáteční fázi, kdy je z povrchu zkušebních těles odstraňován asfaltový film, který může ovlivňovat měřené hodnoty μ_{FAP} . Průběh součinitele tření μ_{FAP} v závislosti na počet pojezdů kuželíků jednotlivých zkušebních těles lze vidět v grafu 7.

Tabulka 25: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP u asfaltové směsi

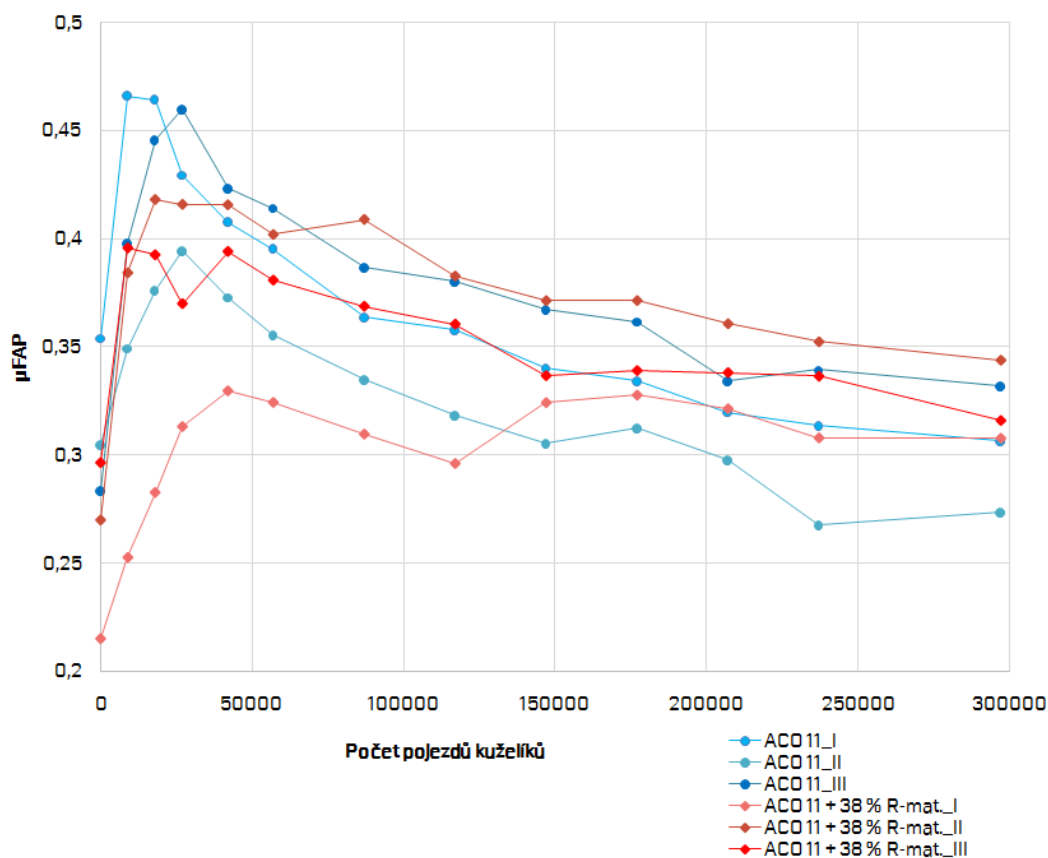
bez obsahu R-materiálu

ACO11 bez R-materiálu			
ACO 11_I - μ_{FAP}	ACO 11_III - μ_{FAP}	Δ	FAP
0,215	0,284	0,068	0,250
0,466	0,398	0,068	0,432
0,464	0,446	0,019	0,455
0,429	0,460	0,031	0,445
0,408	0,423	0,016	0,416
0,395	0,414	0,019	0,405
0,364	0,387	0,023	0,375
0,358	0,380	0,022	0,369
0,340	0,367	0,027	0,354
0,334	0,362	0,028	0,348
0,320	0,335	0,015	0,327
0,314	0,340	0,026	0,327
0,307	0,332	0,025	0,319

Tabulka 26: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP u asfaltové směsi

s 38 % obsahem R-materiálu

ACO11 s 38 % R-materiálem			
ACO 11 + 38 % R-mat._II μ_{FAP}	ACO 11 + 38 % R-mat._III μ_{FAP}	Δ	FAP
0,297	0,270	0,026	0,283
0,396	0,385	0,012	0,390
0,393	0,418	0,026	0,406
0,370	0,416	0,046	0,393
0,394	0,416	0,022	0,405
0,381	0,402	0,021	0,392
0,369	0,409	0,040	0,389
0,361	0,383	0,022	0,372
0,337	0,372	0,035	0,354
0,339	0,372	0,033	0,355
0,338	0,361	0,022	0,350
0,337	0,353	0,016	0,345
0,316	0,344	0,028	0,330



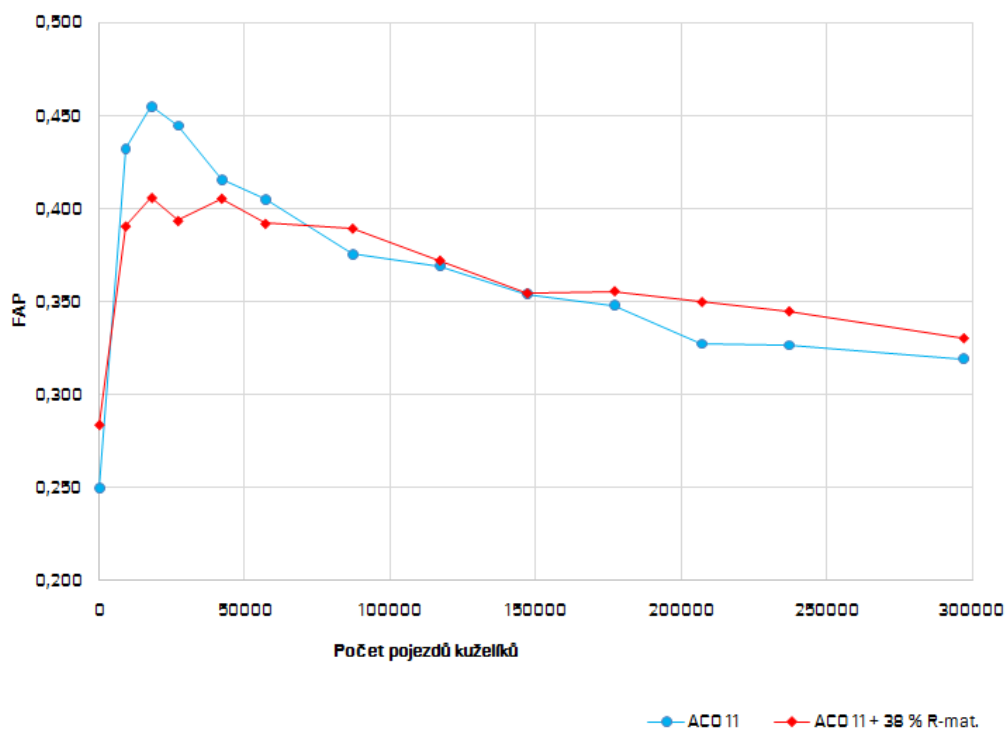
Graf 7: Průběhu součinitele tření po ohlazení v závislosti na počtu pojezdů kuželíky na zkušebních tělesech

Pro lepší orientaci byla vytvořena tabulka 27, kde lze vidět jednotlivé hodnoty FAP u dvou rozdílných zkušebních vzorků z asfaltové směsi tedy bez R-materiálu a s podílem 38 % R-materiálu.

Aby bylo možné určit, jaký vliv měla přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi, bylo nutné stanovit rozdíly mezi výslednými hodnotami FAP. Průběh výsledné hodnoty FAP v závislosti na počtu pojezdu kuželíku, lze vidět v grafu 8.

Tabulka 27: Výsledný rozdíl hodnot FAP u asfaltové směsi bez R-mat. a s 38 % obsahem R-materiálem

FAP ACO 11	FAP ACO 11 + 38 %R-mat.	Rozdíl FAP
0,250	0,283	0,034
0,432	0,390	0,042
0,455	0,406	0,049
0,445	0,393	0,052
0,416	0,405	0,010
0,405	0,392	0,013
0,375	0,389	0,014
0,369	0,372	0,003
0,354	0,354	0,000
0,348	0,355	0,007
0,327	0,350	0,022
0,327	0,345	0,018
0,319	0,330	0,011



Graf 8: Průběhu FAP v závislosti na počtu pojezdů kuželíky

Tabulka 28: Výsledná hodnota kameniva FAP – ACO 11

Ozn.	Frakce	%	FAP	ACO11 - FAP
Zbečno	0/2	44	0,267	0,117
Zbečno	2/5	20	0,267	0,053
Zbečno	4/8	15	0,267	0,040
Brant	8/11	15	0,443	0,066
Výsledná hodnota FAP kameniva v asfaltové směsi				0,277
Hodnota PSV dle experimentu				51

Tabulka 29: Výsledná hodnota kameniva FAP – ACO 11 s 38 % R-materiálem

Ozn.	Frakce	%	FAP	ACO11 - FAP
Zbečno	0/2	35	0,267	0,093
Zbečno	2/5	4,8	0,267	0,013
Zbečno	4/8	4,8	0,267	0,013
Brant	8/11	12,7	0,443	0,056
R-materiál	8/11	38,3	0,337	0,129
Výsledná hodnota FAP kameniva v asfaltové směsi				0,304
Hodnota PSV dle experimentu				52

Vyhodnocení:

Z grafů 7 je patrné, že zkušební těleso z asfaltové směsi ACO 11 s 38 % R-materiálu mělo po 5 cyklech ohlazování nejvyšší součinitel tření. Dále lze z grafu vidět, že mezi vzorky není významný rozdíl, tedy až na vzorek ACO 11 + 38 % R-mat., který má výrazné odlišné hodnoty součinitele tření μ_{FAP} . To mohlo být způsobeno jeho výrobou, kde byla vyšší hodnota hutnicí teploty, a následně došlo k tzv. vypocení asfaltového pojiva na povrchu zkušebního vzorku, viz obr. 45.



Obrázek 45: Zkušební vzorek ACO 11 + 38 % R-mat._I.

Jak lze vidět, asfaltová směs typu ACO 11 s obsahem R-materiálu sice dosáhla vyšších hodnot FAP než směs ACO 11, rozdíl je ale nižší než opakovatelnost měření daná normou a lze ho tedy zanedbat.

Dle hodnot změřeného na zkušebních tělesech z různého druhu kameniv vyšla hodnota FAP u asfaltové směsi ACO 11 $FAP = 0,277$ a u asfaltové směsi s 38 % R-materiálu $FAP = 0,304$. V tomto případě vyšlo, že asfaltová směs s obsahem R-materiálu vyšla lépe z hlediska protismykových vlastností povrchu vozovky. I v tomto případě je rozdíl mezi oběma hodnotami na hranici opakovatelnosti měření (0,027).

Dále byl pro experiment stejně jako u kameniv, přepočtena hodnota FAP na hodnotu PSV. Výsledkem bylo, že obě asfaltové směsi jsou vhodné z hlediska ohladitelnosti kameniva a protismykových vlastností povrchu vozovky vhodné do obrusné vrstvy vozovky a že obsah R-materiálu neovlivnil protismykové vlastnosti povrchu vozovky.

3 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zjistit jaký vliv má přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi typu asfaltový beton v ohrusné vrstvě na protismykové vlastnosti povrchu vozovky.

V teoretické části byly vysvětleny důležité pojmy týkající se protismykových vlastností povrchu vozovky, největší pozornost byla věnována zkušebnímu zařízení pro stanovení součinitele tření po ohlazení. V České republice tato metoda zatím není moc známá. V neposlední řadě byly obecně vysvětleny pojmy týkající se R-materiálu.

V praktické části byly nejprve popsány jednotlivé materiály, které byly použity v diplomové práci. Poté byly popsány jednotlivé zkoušky a metody, které byly v diplomové práci prováděny.

V rámci diplomové práce bylo vyrobeno osm zkušebních těles pro zkoušku stanovení součinitele tření po ohlazení z různých druhů a frakcí kameniva. Tři zkušební tělesa byla vyrobena z extrahovaného kameniva z R-materiálu frakce 8/11. Další tři zkušební vzorky byly vyrobeny z kameniva z lokality Brant také frakce 8/11 a zbylé dva zkušební vzorky z kameniva z lokality Zbečno z frakce 4/8.

Na těchto zkušebních tělesech byl změřen součinitel tření po ohlazení pomocí laboratorního zařízení, který se nachází ve výzkumném centru AdMaS, které je součástí Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně. Z hodnot součinitele tření po ohlazení byla vypočtena hodnota FAP.

Pro experiment se na každém vzorku přepočítaly hodnoty FAP na hodnotu PSV. V diplomové práci byla možnost nahlédnout do protokolu dodávaného výrobcem. Podle něho bylo zjištěno, že se tyto hodnoty lišily, což mohlo být způsobeno odběrem z jiné etáže v lomu.

Na základě změřených hodnot součinitele tření po ohlazení na zkušebních tělesech z kameniva byly navrženy dvě receptury na výrobu asfaltové směsi typu asfaltový beton (ACO 11) bez obsahu R-materiálu a se 40 % R-materiálu.

Procentuální obsah R-materiálu ve směsi ACO 11 byl vybrán vzhledem k revizi normy ČSN EN 13108-1, kde dojde ke zvýšení momentálního platného obsahu 25 % až na 40 %. Návrh navážky na asfaltové směsi musel být několikrát opakován, protože nebyla splněna kritéria dle ČSN EN 13018-1. Nakonec bylo nutné snížit obsah R-materiálu v asfaltové směsi na 38 %. Z výsledných návrhů ACO 11 bez R-materiálu a ACO 11 s 38 % R-materiálu splňující požadovaná kritéria byly vyrobeny desky pomocí lamelového zhutňovače. Z hotových desek byly odebrány zkušební vývrty $\varnothing 225$ mm

Na zkušebních tělesech (vývrtech) byl sledován vývoj součinitele tření v závislosti na počtu cyklů laboratorního ohlazování. Na základě výsledků byl hodnocen vliv přítomnosti R-materiálu ve směsi ACO 11.

Závěrem lze tedy konstatovat, že směs s R-materiálem měla podobný součinitel tření jako asfaltová směs bez R-materiálu, takže tyto dvě směsi vyšly téměř stejně. V diplomové práci se tedy nepotvrdilo, že by podíl 38 % R-materiálu v asfaltové směsi ACO 11 ovlivnil protismykové vlastnosti povrchu vozovky.

Ovšem tato skutečnost může být ojedinělá vzhledem k tomu, že získaný R-materiál může mít libovolné složení. Je důležité si uvědomit, že konstrukce vozovek v dnešní době může mít jakoukoliv skladbu, a tak i z ní následně získaný R-materiál je výjimečný, co se skladby hornin a obsahu pojiva týče.

Proto je nutno tuto skutečnost nezanedbávat a nadále se tímto tématem zabývat. Provádět jednotlivé výzkumy zaměřené právě na měření součinitele tření po ohlazení na jednotlivých asfaltových směsích typu asfaltový beton do ohrusných vrstev s podílem R-materiálu, který byl vybourán či vyfrézován z různého druhu konstrukcí vozovek.

LITERATURA

ODBORNÁ ČESKY PSANÁ LITERATURA

- [1] Dašková, J., Nekulová, P. Příloha B.1 závěrečné zprávy projektu TA02030479 Zavedení zrychlené laboratorní metody podle prEN 12697-49 k měření protismykových vlastností povrchů vozovek a jejich vývoje v závislosti na dopravním zatížení pro snížení nehodovosti a prodloužení životnosti obrusných vrstev. Vysoké učení technické v Brně. Leden 2017.
- [2] KUDRNA, J., DAŠKOVÁ, J., NEKULA, L., MALIŠ, L., URBANEC, K. Snížení dopravní nehodovosti v ČR je úspěchem nebo neúspěchem? Silnice Železnice. Ostrava: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2011, roč. 6, č. 2, s. 37 – 45. ISSN: 1801 822X
- [3] KUDRNA, J., HALÁSKOVÁ, J., MALIŠ, L. Vliv protismykových vlastností povrchů vozovek na nehodovost. In: Pragoprojekt. Odpověd. red.: MOTLOVÁ, J.. AV ,07, Konference Asfaltové Vozovky 2007, 27. – 28. listopadu 2007, České Budějovice = Conference Asphalt Pavements 2007. Vyd. 1. Praha, 2007. ISBN 9788090392502. ISSN 978 80 903925 0 2.
- [4] NEKULOVÁ, P.; DAŠKOVÁ, J.; NEKULA, L., KAŠPAR, J.; BUREŠ, P.; SÝKORA, M. Použití směsí kameniva s různou odolností proti ohlazení do obrusných vrstev za účelem prodloužení životnosti protismykových vlastností povrchu vozovky. In sborník konference Asfaltové vozovky 2017, PRAGOPROJEKT, a.s., České Budějovice, 2017, s. 1-6. ISBN: 978-80-906809-0-6. Evans L. D.:
- [5] Stoklásek, S., Schmeisser, C.: Nový koncept polymerem modifikovaných asfaltových pojiv firmy Shell určených pro použití v asfaltových směsích s vysokým obsahem recyklovaného materiálu, Sborník konference „Asfaltové vozovky 2009“, České Budějovice, 2009

- [6] VARAUS Michal, Metodika aplikace R-materiálu v asfaltových směsích, VUT Brno 2012

ODBORNÁ ANGLICKY PSANÁ LITERATURA

- [7] Evans L. D.: Effects of texture Options. How important is pavement surface texture? Applied Research Associates, inc. Presentace 2007
- [8] Hall J.W., Smith K.L., Titus-Glover L.: Applied Research Associates, Inc., Champaign, IL, Wambold J.C., CDRM, Inc., State College, PA, Yager T.J., NASA Langley Research Center, Hampton, VA, Rado Z., Pennsylvania Transportation Institute, University Park, PA NCHRP: Guide for Pavement Friction. 2009. 257 p.
- [9] Kane M., Scharnigg K., D10 Report on different parameters influencing skid resistance, rolling resistance and noise emissions, WP3 Road surface properties – skid resistance/rolling resistance/noise emissions. Tyre and Road Surface Optimisation for Skid Resistance and Further Effects. 95 p. August 2009.
- [10] Kirchmaier L.: Einfluss feiner Gesteinskörnungen auf die Griffigkeit von Deckschichten im Strassenbau. Grundlegende Untersuchungen zum Polierverhalten mit dem /rülfrgerät nach Wehner/Schulze neuer Bauart. Dissertation. Technische Universität Wien. 2011

SKRIPTA A PŘEDNÁŠKY

- [11] HÝZL, Petr. Návrh asfaltové směsi. (přednáška) Brno, 2008: VUT FAST, Ústav stavebních komunikací
- [12] Varaus, M.: Je možné zlepšit stav netuhých vozovek v České republice?, Sborník konference „Asfaltové vozovky 2011“, České Budějovice, 2011.

TEHNICKÉ NORMY

- [13] ČSN EN 933-1 Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor. Praha, ČNI, 1998
- [14] ČSN EN 933-1+A1. Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část1:Stanovení zrnitosti – sítový rozbor. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [15] ČSN EN 1097-8 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 8: Stanovení hodnoty ohladitelnosti. ÚNMZ. Únor 2010.
- [16] ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton. Praha, ČNI, 2008
- [17] ČSN 73 6177 – Měření a hodnocení protismykových vlastností povrchů vozovek. Prosinec 2015.
- [18] ČSN EN 12697-49 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 49: Stanovení součinitele tření po ohlazení, 7/2014.
- [19] Technical test specifications determining the grip development of surfaces by using the Wehner/Schulze test process (PWS); Road and Traffic Research Association, 2009 edition
- [20] ČSN 73 6160:2008 - Zkoušení asfaltových pojiv, Praha: Český normalizační institut 2008
- [21] ČSN EN 12697-6+A1 Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Praha, ČNI, 2012
- [22] ČSN EN 12697-8. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [23] ČSN EN 12 697 – 22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka Část 5: stanovení maximální objemové hmotnosti

- [24] ČSN EN 12 697 – 22 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa
- [25] ČSN EN 12697-30+A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka–Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [26] ČSN EN 12 697 – 30 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka. – Část 33: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem. Praha: ČNI, 2007
- [27] ČSN EN 12697 - 34. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka- Část 34: Marshallova zkouška. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

TECHNOLOGICKÉ PŘEDPISY

- [28] TP 208, *Recyklace konstrukčních vrstev netuhých vozovek za studena*, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2009
- [29] TP 210, *Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací*, MINISTERSTVO DOPRAVY ČR – OSI, 2010 ČSN EN 13108-8, Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 8: R-materiál. Praha, ČNI, 2008

DIPLOMOVÉ A DISERTAČNÍ PRÁCE

- [30] DAŠKOVÁ, Jaroslava. Závislost protismykových vlastností povrchů vozovek na ohladitelnosti kameniva a dopravním zatížení: Brno, 2013. 170 s., 7 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce prof. Ing. Jan Kudrna, CSc
- [31] ŠINDELÁŘOVÁ, T. Využití rejuvenátorů v asfaltových směsích s R-materiálem. Diplomová práce. ČVUT. 2013.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [32] Hall J. W. Jr.: Pavement texture and friction. Applied Research Associates, inc. September 2007. (dostupný:<http://www.captg.ca/docs/pdf/07presentations/PavementTexture.pdf>)
- [32] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skladba_vozovky.jpg?uselang=cs
- [34] <http://docplayer.cz/42837090-Povrchove-vlastnosti-vozovek-zpsoby-meni-a-hodnoceni-povrchovych-vlastnosti-vozovek-pro-mit-a-hodnotit-povrchove-vlastnosti-vozovek.htm>
- [35] <https://fyzika.jreichl.com/main.article/view/36-smykove-treni>
- [36] <http://www.nabla.cz/obsah/fyzika/mechanika/treci-sila-smykove-treni.php>
- [37] <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/stav-povrchu-vozovek-ovlivnujici-dopravni-nehodovost/%3C/head%3E%3Cbody%3E>
- [38] <https://www.slideshare.net/haivo2310/pavement-skid-resistance>
- [39] Řezání a bourání asfaltových povrchů. Asphalt . [online]. 13.5.2016 [cit. 2016-05-13]. Dostupné z: <http://www.asfalt.cz/rezani-a-bourani-asfaltovych-povrchu>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vrstvy konstrukce vozovky [37]	11
Obrázek 2: Závislost roční míry nehodovosti na 100 km na součiniteli bočního tření a textuře SMTD měřeného v USA [5]	12
Obrázek 3: Názvosloví z hlediska délky vlny [17]	14
Obrázek 4: Specifikace mikrotextury a makrotextury [17]	14
Obrázek 5 Možné extrémy mikrotextury a makrotextury [9]	14
Obrázek 6: Přístroj na stanovení tření [15]	15
Obrázek 7: Metoda pro stanovení makrotextury [38]	16
Obrázek 8: Zjednodušené schéma třecí síly působící na pohybující se kolo [36]	16
Obrázek 9: Schéma zařízení pro měření součinitele podélného tření [17]	17
Obrázek 10: Schéma zařízení pro měření součinitele bočního tření [17]	17
Obrázek 11: Měřicí vozidlo TRT [34]	18
Obrázek 12: Zařízení pro stanovení součinitele tření po ohlazení ve Vídni [19]	19
Obrázek 13: Zařízení pro stanovení součinitele tření po ohlazení na VUT v Brně	20
Obrázek 14: Ohlazovací hlava pohled zespodu [18]	21
Obrázek 15: Ohlazovací kužely – příčný, podélný řez a 3D pohled [18]	21
Obrázek 16: Měřicí hlava (pohled zespodu), kluzná patka - tvar pryže (půdorys) [18]	22
Obrázek 17: Zkušební tělesa (vlevo vývrt z desky, těleso vyrobeno z kameniva, těleso vyrobeno z písku) [30]	24
Obrázek 18: Skládka R-materiálu	25
Obrázek 19: Bourání asfaltových vrstev [6]	27
Obrázek 20: Stacionární technologická linka pro drcení asfaltového R-materiálu [6]	27
Obrázek 21: Použité kamenivo v asfaltové směsi	31
Obrázek 22: Homogenizace v laboratoři	33
Obrázek 23: Zkušební vzorek po homogenizaci	33
Obrázek 24: Prosévací stroj se síty s oky 8 a 11,2 mm	34
Obrázek 25: Zařízení na extrakci asfaltového pojiva	35
Obrázek 26: Patrona	35
Obrázek 27: Prosévací stroj	36
Obrázek 28: Výroba zkušebního tělesa	39
Obrázek 29: Hotová zkušební tělesa kameniv	40
Obrázek 30: Schéma řezu vyrobeného zkušebního tělesa [10]	41
Obrázek 31: Display zkušebního zařízení	41
Obrázek 32: Příprava kameniva pro výrobu asfaltové směsi	48
Obrázek 33: Výroba asfaltové směsi	49

Obrázek 34: Tvar a popis pyknometru	50
Obrázek 35: Rázový zhutňovač	52
Obrázek 36: Forma pro výrobu Marshallových těles	53
Obrázek 37: Marshallovo těleso (vlevo), lis s Marshallovým tělesem (vpravo)	53
Obrázek 38: Marshallova tělesa ponořena ve vodní lázni	55
Obrázek 39: Výroba asfaltové směsi a její vsypání do formy zhutňovače desek	62
Obrázek 40: Výroba desky pomocí zhutňovače desek	62
Obrázek 41: Zkušební těleso	63
Obrázek 42: Zkušební těleso ponořené ve vodní lázni	63
Obrázek 43: Zkušební tělesa	65
Obrázek 44: upevnění zkušebního tělesa z desky do formy	66
Obrázek 45: Zkušební vzorek ACO 11 + 38 % R-mat._I.	71

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Příklad různých zařízení k měření protismykových vlastností povrchu vozovky [8]...	18
Tabulka 2: Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti asfaltové směsi [29].....	26
Tabulka 3: Horniny zastoupené v R-materiálu	32
Tabulka 4: Porovnání síťových rozborů referenční směs R-materiálu a kameniva Brant.....	37
Tabulka 5: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP.....	42
Tabulka 6: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP.....	42
Tabulka 7: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP	42
Tabulka 8: Hodnoty FAP a PSV.....	45
Tabulka 9: Požadavky na asfaltové směsi obrusných vrstev [16]	46
Tabulka 10: Návrh množství kameniva a asfaltového pojiva v asfaltové směsi	47
Tabulka 11: Stanovení maximální objemové hmotnosti	51
Tabulka 12: Rozměry a hmotnost Marshallových těles bez obsahu R-materiálu	54
Tabulka 13: Rozměry a hmotnost Marshallových těles s R-materiálem.....	54
Tabulka 14: Hmotnost Marshallových těles bez R-materiálu	56
Tabulka 15: Hmotnost Marshallových těles s 38 % R-materiálem.....	56
Tabulka 16: Hustota vody při dané teplotě	57
Tabulka 17: Objemová hmotnost ACO 11 bez R-materiálu (teplota vody 20,2 °C)	57
Tabulka 18: Objemová hmotnost ACO 11 s 38,3 % R-materiálem	57
Tabulka 19: Mezerovitost asfaltové směsi dle návrhu.....	58
Tabulka 20: Návrh receptury ACO 11 bez R-materiálu	60
Tabulka 21: Návrh receptury ACO 11 s 38 % R-materiálem.....	61
Tabulka 22: Objemová hmotnosti zkušební tělesa bez R-materiálu.....	64
Tabulka 23: Objemová hmotnost zkušební tělesa s 38 % R-materiálem	64
Tabulka 24: Vypočítaná mezerovitost zkušebních těles	64
Tabulka 25: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP u asfaltové směsi.....	67
Tabulka 26: Hodnoty součinitele tření μ_{FAP} a FAP u asfaltové směsi.....	67
Tabulka 27: Výsledný rozdíl hodnot FAP u asfaltové směsi bez R-mat. a s 38 % obsahem R-materiálem.....	69
Tabulka 28: Výsledná hodnota kameniva FAP – ACO 11.....	70
Tabulka 29: Výsledná hodnota kameniva FAP – ACO 11 s 38 % R-materiálem.....	70

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Čára zrnitosti R-materiálu a kameniva Brant	38
Graf 2: Součinitele tření μ_{FAP} zkušebních vzorků	43
Graf 3: Hodnoty FAP kameniva μ_{FAP} [43]	44
Graf 4: Srovnání výsledků FAP a PSV [43]	45
Graf 5: Čára zrnitosti ACO 11	47
Graf 6: Čára zrnitosti ACO 11 a ACO 11 + 38 % R-materiálu	48
Graf 7: Průběhu součinitele tření po ohlazení v závislosti na počtu pojezdů kuželíky na zkušebních tělesech	68
Graf 8: Průběhu FAP v závislosti na počtu pojezdů kuželíky	69

SEZNAM ROVNIC

1: Součinitel tření	6
2: Součinitel tření po ohlazení	23
3: Korekce součinitele tření dle hodnot naměřených na referenčním skle	23
4: Stanovení procenta jemných částic	37
5: Vztah pro výpočet maximální objemové hmotnosti	51
6: Vztah pro výpočet objemové hmotnosti pomocí Marshallových těles	56
7: Vztah pro výpočet mezerovitosti	58
8: Vztah pro výpočet hmotnosti asfaltové směsi	59

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

Ø	průměr
°C	stupně Celsia
ČR	Česka republika
g	gram
kg/m ³	kilogram na metr krychlový
max.	maximálně
min.	minimálně
mm	milimetr
Tab.	tabulka
Obr.	obrázek
μ_{FAP}	součinitel tření pro jednotlivé měření
μ_{REF}	známá hodnota měření protismykových vlastností na kontrolní desce
μ_m	součinitel tření při rychlosti 60 km/h
PSV	Polished Stone Value
FAP	Friciton after Polishing
SMTD	Sensor Measured Texture Depth
ACO 11	asfaltový beton pro ohrusné vrstvy s maximální velikostí kameniva 11 mm
TP	Technické podmínky
AdMas	Advanced Materials, Structures and Technologies (výzkumný projekt VUT v Brně)

SEZNAM PŘÍLOH

A Zkušební tělesa z různého druhu kameniva	85
PŘÍLOHA A1: Kamenivo z lokality BRANT – VZOREK I.	86
PŘÍLOHA A2: Kamenivo z lokality BRANT – VZOREK II.	87
PŘÍLOHA A3: Kamenivo z lokality BRANT – VZOREK III.	88
PŘÍLOHA A4: Kamenivo z lokality ZBEČNO – VZOREK I.	89
PŘÍLOHA A5: Kamenivo z lokality ZBEČNO – VZOREK II.	90
PŘÍLOHA A6: R-MATEIRÁL – VZOREK I.	91
PŘÍLOHA A7: R-MATEIRÁL – VZOREK II.	92
PŘÍLOHA A8: R-MATEIRÁL – VZOREK III.	93
 B Zkušební tělesa z různé asfaltové směsi	 94
PŘÍLOHA B1: ACO 11 – VZOREK I.	95
PŘÍLOHA B2: ACO 11 – VZOREK II.	97
PŘÍLOHA B3: ACO 11 – VZOREK III.	99
PŘÍLOHA B4: ACO 11 + 38 % R-MATEIRÁLU – VZOREK I.	101
PŘÍLOHA B5: ACO 11 + 38 % R-MATEIRÁLU – VZOREK II.	103
PŘÍLOHA B6: ACO 11 + 38 % R-MATEIRÁLU – VZOREK III.	105
PŘÍLOHA B7: SOUHRN HODNOT FAP	107

A. ZKUŠEBNÍ TĚLESA Z RŮZNÉHO DRUHU KAMENIVA

PŘÍLOHA A1

KAMENIVO Z LOKALITY BRANT – ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}
1	SKLO	252,723	0,111	
2	Brant 8/11 I. 90 000 poj.	996,733	0,437	0,431
3	SKLO	266,305	0,117	

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A2

KAMENIVO Z LOKALITY BRANT - ZKUŠEBNÍ VZOREK II.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}
1	SKLO	253,258	0,111	
2	Brant 8/11 II. 90 000 poj.	1045,295	0,459	0,455
3	SKLO	255,1386	0,112	

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A3

KAMENIVO Z LOKALITY BRANT – ZKUŠEBNÍ VZOREK III.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}
1	SKLO	258,23685	0,113	-
2	Brant 8/11 III. 90 000 poj.	1003,69502	0,441	0,434
3	SKLO	263,62660	0,116	-

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A4

KAMENIVO Z LOKALITY ZBEČNO - ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μm	μFAP
1	SKLO	266,388	0,117	-
2	Zbečno 4/8 I. 90 000 poj.	622,950	0,274	0,264
3	SKLO	268,443	0,118	-

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A5

KAMENIVO Z LOKALITY ZBEČNO - ZKUŠEBNÍ VZOREK II.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μm	μFAP
1	SKLO	263,271	0,116	-
2	Zbečno 4/8 II. 90 000 poj.	629,547	0,277	0,267
3	SKLO	258,123	0,114	-

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A6

R-MATERIÁL - ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μm	μFAP
1	SKLO	255,924	0,112	-
2	R-materiál 8/11 I. 90 000 poj.	805,717	0,354	0,353
3	SKLO	240,510	0,106	-

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A7

R-MATERIÁL - ZKUŠEBNÍ VZOREK II.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μm	μFAP
1	SKLO	240,956	0,106	-
2	R-materiál 8/11 II. 90 000 poj.	744,834	0,327	0,331
3	SKLO	234,526	0,103	-

Před zkouškou:



Po zkoušce:



PŘÍLOHA A8

R-MATERIÁL - ZKUŠEBNÍ VZOREK III

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μm	μFAP
1	SKLO	247,422	0,109	-
2	R-materiál 8/11 III. 90 000 poj.	745,503	0,327	0,328
3	SKLO	239,843	0,105	-

Před zkouškou:



Po zkoušce:



B. ZKUŠEBNÍ TĚLESA Z RŮZNÉ ASFALTOVÉ SMĚSI

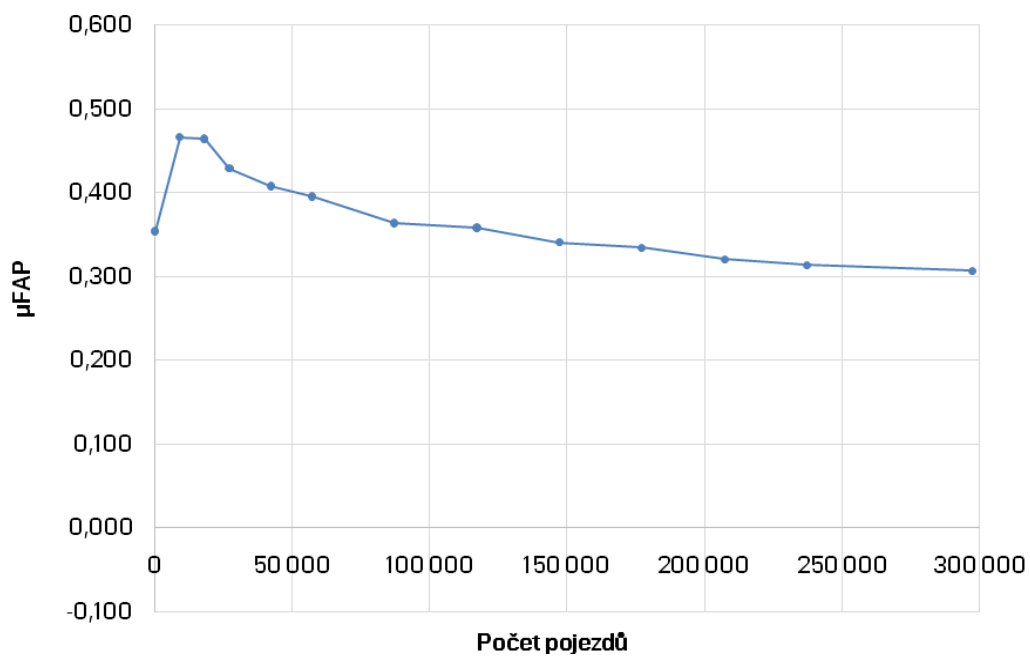
PŘÍLOHA B1

ACO 11 - ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

Před zkouškou:



Po zkoušce:



ACO 11 - ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}	Δ
1	SKLO	233,91024	0,103	-	-
2	I bez R-mat., 0 poj.	815,06664	0,358	0,354	-
3	SKLO	262,05427	0,115	-	0,01
4	SKLO	250,09629	0,110	-	0,01
5	I bez R-mat., 90 000 poj.	1068,04730	0,469	0,466	0,112
6	SKLO	241,13434	0,106	-	0,00
7	SKLO	240,00514	0,105	-	0,00
8	I bez R-mat., 18 000 poj.	1058,05195	0,465	0,464	0,002
9	SKLO	239,40508	0,105	-	0,00
10	SKLO	246,91878	0,108	-	0,00
11	I bez R-mat., 270 000 poj.	985,25627	0,433	0,429	0,035
12	SKLO	255,94704	0,112	-	0,00
13	SKLO	243,11679	0,107	-	0,01
14	I bez R-mat., 420 000 poj.	929,28508	0,408	0,408	0,022
15	SKLO	241,28256	0,106	-	0,00
16	SKLO	239,84584	0,105	-	0,00
17	I bez R-mat., 570 000 poj.	903,23669	0,397	0,395	0,012
18	SKLO	244,13447	0,107	-	0,00
19	SKLO	233,16092	0,102	-	0,00
20	I bez R-mat., 870 000 poj.	829,93780	0,364	0,364	0,032
21	SKLO	248,01993	0,109	-	0,01
22	SKLO	230,48487	0,101	-	0,01
23	I bez R-mat., 117 0000 poj.	811,30176	0,356	0,358	0,006
24	SKLO	239,85220	0,105	-	0,00
25	SKLO	235,82185	0,104	-	0,00
26	I bez R-mat., 1 470 000 poj.	770,38624	0,338	0,340	0,018
27	SKLO	232,58740	0,102	-	0,00
28	SKLO	228,95238	0,101	-	0,00
29	I bez R-mat., 1 770 000 poj.	756,60354	0,332	0,334	0,006
30	SKLO	240,13089	0,105	-	0,00
31	SKLO	255,40883	0,112	-	0,01
32	I bez R-mat., 2 070 000 poj.	740,10409	0,325	0,320	0,014
33	SKLO	245,91490	0,108	-	0,00
34	SKLO	247,80994	0,109	-	0,00
35	I bez R-mat., 2 370 000 poj.	720,44593	0,316	0,314	0,006
36	SKLO	242,76997	0,107	-	0,00
37	SKLO	240,88132	0,106	-	0,00
38	I bez R-mat., 2 970 000 poj.	696,95697	0,306	0,307	0,007
39	SKLO	234,46619	0,103	-	0,00

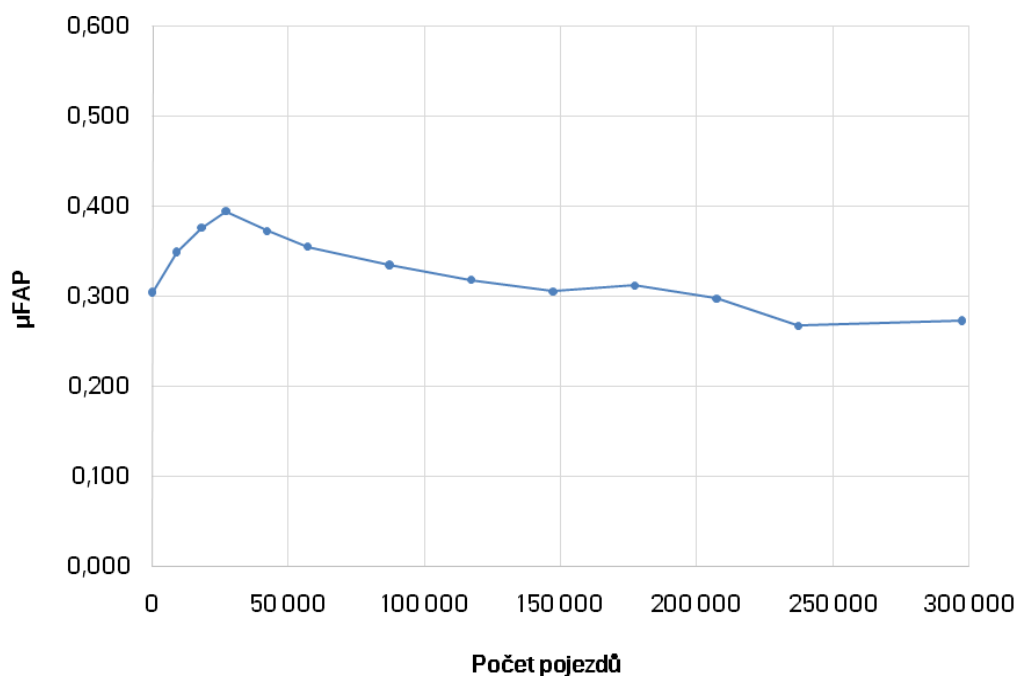
PŘÍLOHA B2

ACO 11 - ZKUŠEBNÍ VZOREK II

Před zkouškou:



Po zkoušce:



ACO 11 - ZKUŠEBNÍ VZOREK II

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}	Δ
1	SKLO	253,48028	0,111	-	-
2	1.2, 0 poj.	718,27876	0,315	0,305	-
3	SKLO	272,99571	0,120	-	0,01
4	SKLO	263,76040	0,116	-	0,00
5	1.2, 9 000 poj.	820,53140	0,360	0,349	0,045
6	SKLO	264,13789	0,116	-	0,00
7	SKLO	262,73306	0,115	-	0,00
8	1.2, 18 000 poj.	881,86095	0,387	0,376	0,027
9	SKLO	265,60632	0,117	-	0,00
10	SKLO	252,73852	0,111	-	0,01
11	1.2, 27 000 poj.	919,87294	0,404	0,395	0,018
12	SKLO	267,57934	0,118	-	0,01
13	SKLO	255,70141	0,112	-	0,01
14	1.2, 42 000 poj.	866,38258	0,380	0,373	0,022
15	SKLO	256,49627	0,113	-	0,00
16	SKLO	256,46274	0,113	-	0,00
17	1.2, 57 000 poj.	829,87308	0,364	0,356	0,017
18	SKLO	262,05643	0,115	-	0,00
19	SKLO	258,82110	0,114	-	0,00
20	1.2, 87 000 poj.	789,64064	0,347	0,335	0,020
21	SKLO	271,99214	0,119	-	0,01
22	SKLO	258,54927	0,114	-	0,01
23	1.2, 117 000 poj.	745,13417	0,327	0,319	0,017
24	SKLO	259,31410	0,114	-	0,00
25	SKLO	254,87496	0,112	-	0,00
26	1.2, 147 000 poj.	715,20545	0,314	0,306	0,013
27	SKLO	261,82327	0,115	-	0,00
28	SKLO	251,75524	0,111	-	0,00
29	1.2, 177 000 poj.	725,39743	0,319	0,313	0,007
30	SKLO	253,45648	0,111	-	0,00
31	SKLO	256,50901	0,113	-	0,00
32	1.2, 207 000 poj.	695,16195	0,305	0,298	0,015
33	SKLO	255,16565	0,112	-	0,00
34	SKLO	263,61003	0,112	-	0,00
35	1.2, 237 000 poj.	631,41598	0,277	0,268	0,030
36	SKLO	266,68118	0,117	-	0,01
37	SKLO	257,24672	0,113	-	0,00
38	1.2, 297 000 poj.	644,86564	0,283	0,274	0,006
39	SKLO	264,95227	0,116	-	0,00

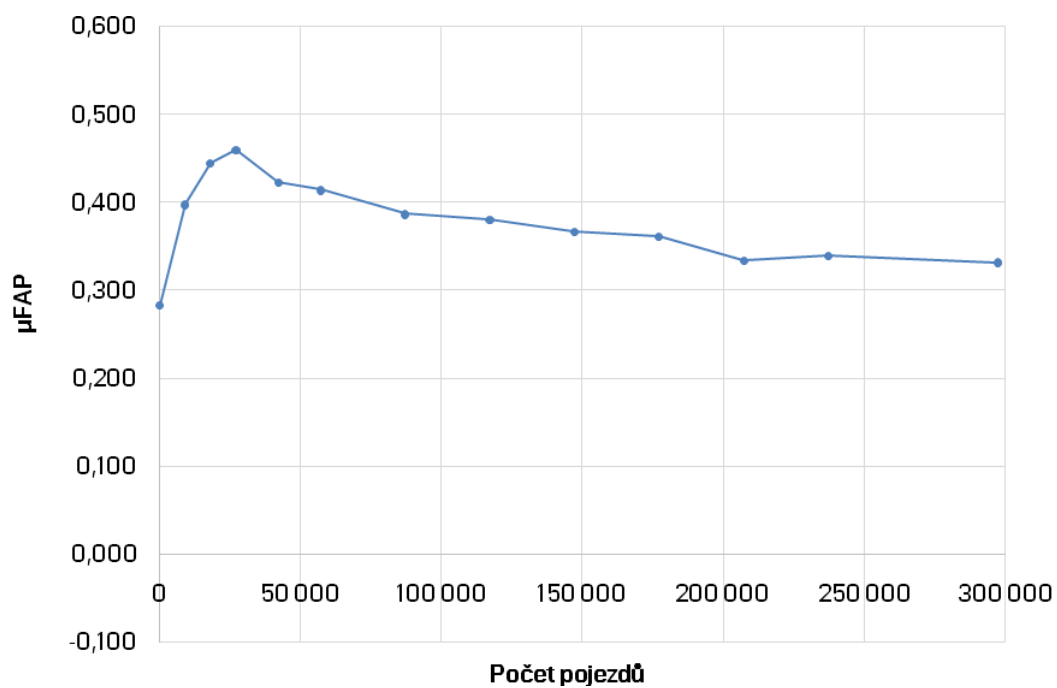
PŘÍLOHA B3

ACO 11 - ZKUŠEBNÍ VZOREK III.

Před zkouškou:



Po zkoušce:



ACO 11 - ZKUŠEBNÍ VZOREK III.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}	Δ
1	SKLO	256,52584	0,113	-	-
2	I bez R-mat., 0 poj.	681,84442	0,299	0,284	-
3	SKLO	293,32403	0,129	-	0,02
4	SKLO	269,37809	0,118	-	0,01
5	I bez R-mat., 90 00 poj.	939,11994	0,412	0,398	0,114
6	SKLO	274,87673	0,121	-	0,00
7	SKLO	258,90638	0,114	-	0,01
8	I bez R-mat., 18 000 poj.	1036,28692	0,455	0,446	0,048
9	SKLO	262,39835	0,115	-	0,00
10	SKLO	246,03471	0,108	-	0,01
11	I bez R-mat., 27 000 poj.	1054,76595	0,463	0,460	0,014
12	SKLO	255,71730	0,112	-	0,00
13	SKLO	255,46857	0,112	-	0,00
14	I bez R-mat., 42 000 poj.	974,69788	0,428	0,423	0,037
15	SKLO	249,04598	0,109	-	0,00
16	SKLO	254,68979	0,112	-	0,00
17	I bez R-mat., 570 00 poj.	960,18411	0,422	0,414	0,009
18	SKLO	257,24589	0,113	-	0,00
19	SKLO	241,49446	0,106	-	0,01
20	I bez R-mat., 870 00 poj.	888,41605	0,390	0,387	0,027
21	SKLO	250,72196	0,110	-	0,00
22	SKLO	246,53056	0,108	-	0,00
23	I bez R-mat., 117 000 poj.	875,70365	0,385	0,380	0,007
24	SKLO	251,29545	0,110	-	0,00
25	SKLO	250,86144	0,110	-	0,00
26	I bez R-mat., 1 470 00 poj.	846,18742	0,372	0,367	0,013
27	SKLO	246,24022	0,108	-	0,00
28	SKLO	248,39049	0,109	-	0,00
29	I bez R-mat., 1 77 000 poj.	832,98069	0,366	0,362	0,006
30	SKLO	247,88777	0,109	-	0,00
31	SKLO	252,01275	0,111	-	0,00
32	I bez R-mat., 2 070 00 poj.	775,78138	0,341	0,335	0,027
33	SKLO	253,84165	0,111	-	0,00
34	SKLO	252,01275	0,111	-	0,00
35	I bez R-mat., 237 000 poj.	782,64654	0,344	0,340	0,005
36	SKLO	245,36506	0,108	-	0,00
37	SKLO	248,30191	0,109	-	0,00
38	I bez R-mat., 297 000 poj.	766,50130	0,337	0,332	0,007
39	SKLO	250,75193	0,110	-	0,00

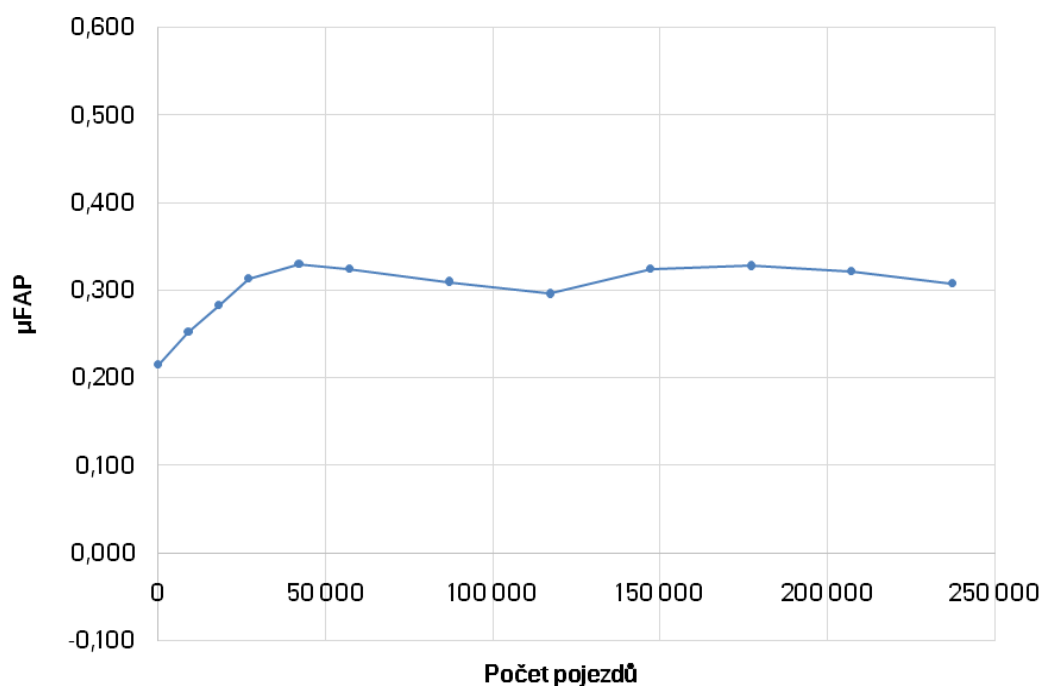
PŘÍLOHA B4

ACO 11 + 38 % R-MATERIÁLU - ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

Před zkouškou:



Po zkoušce:



ACO 11 + 38 % R-MATERIÁLU - ZKUŠEBNÍ VZOREK I.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}	Δ
1	SKLO	253,72179	0,111	-	-
2	I bez R-mat., 0 poj.	518,65103	0,228	0,215	-
3	SKLO	280,69923	0,123	-	0,01
4	SKLO	265,59596	0,117	-	0,01
5	I bez R-mat., 90 000 poj.	607,22039	0,267	0,253	0,038
6	SKLO	275,09815	0,121	-	0,00
7	SKLO	260,31474	0,114	-	0,01
8	I bez R-mat., 18 000 poj.	670,04570	0,294	0,283	0,030
9	SKLO	269,45168	0,118	-	0,00
10	SKLO	258,42590	0,113	-	0,00
11	I bez R-mat., 27 000 poj.	733,83414	0,322	0,313	0,030
12	SKLO	269,38468	0,118	-	0,00
13	SKLO	255,17814	0,112	-	0,01
14	I bez R-mat., 42 000 poj.	770,73341	0,338	0,330	0,017
15	SKLO	266,60169	0,117	-	0,01
16	SKLO	254,46417	0,112	-	0,01
17	I bez R-mat., 57 000 poj.	759,68513	0,334	0,325	0,005
18	SKLO	265,06623	0,116	-	0,00
19	SKLO	258,26618	0,113	-	0,00
20	I bez R-mat., 87 000 poj.	724,76321	0,318	0,310	0,015
21	SKLO	258,11804	0,113	-	0,00
22	SKLO	251,52069	0,110	-	0,00
23	I bez R-mat., 117 000 poj.	692,71523	0,304	0,296	0,014
24	SKLO	262,63524	0,115	-	0,00
25	SKLO	256,41813	0,113	-	0,00
26	I bez R-mat., 147 000 poj.	758,47805	0,333	0,324	0,028
27	SKLO	261,23018	0,115	-	0,00
28	SKLO	255,06022	0,112	-	0,00
29	I bez R-mat., 1 77 000 poj.	762,85720	0,335	0,328	0,003
30	SKLO	255,46720	0,112	-	0,00
31	SKLO	249,89070	0,110	-	0,00
32	I bez R-mat., 2 07 000 poj.	745,67317	0,327	0,322	0,006
33	SKLO	254,94786	0,112	-	0,00
34	SKLO	252,18086	0,111	-	0,00
35	I bez R-mat., 267 000 poj.	716,70563	0,315	0,308	0,013
36	SKLO	256,00519	0,112	-	0,00

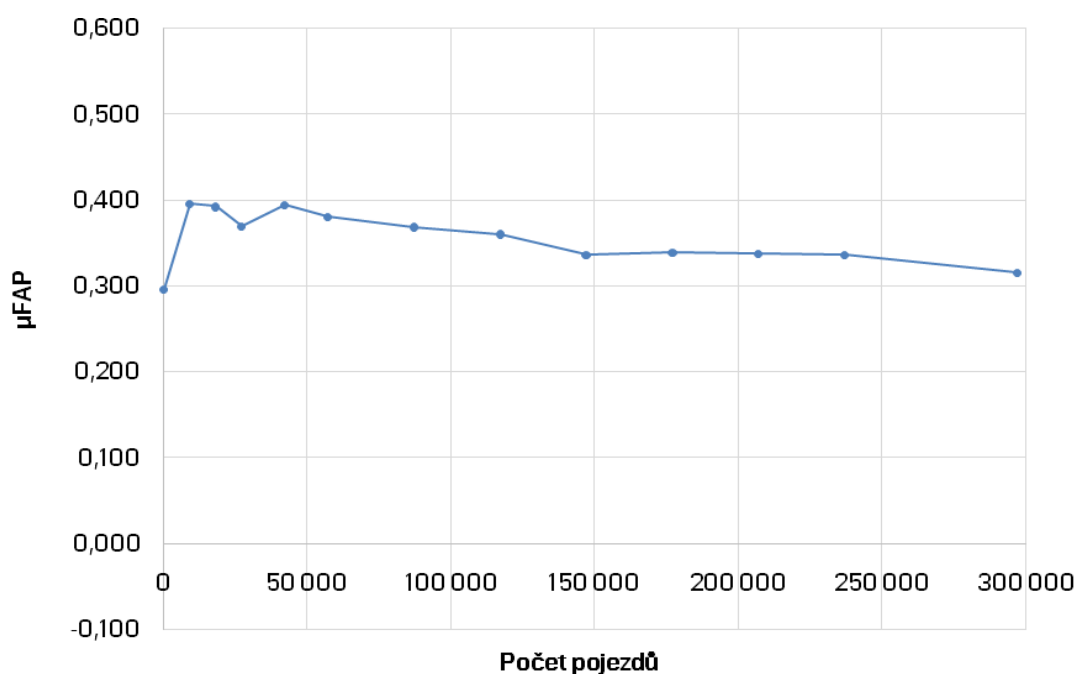
PŘÍLOHA B5

ACO 11 + 38 % R-MATERIÁLU - ZKUŠEBNÍ VZOREK II.

Před zkouškou:



Po zkoušce:



ACO 11 + 38 % R-MATERIÁLU - ZKUŠEBNÍ VZOREK II.

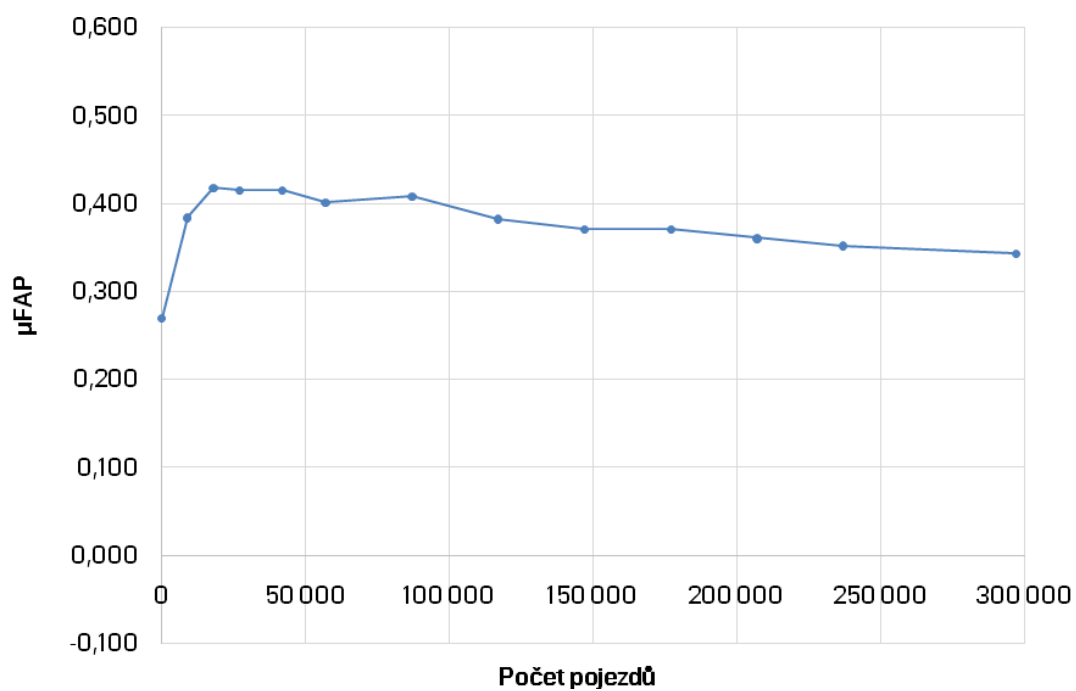
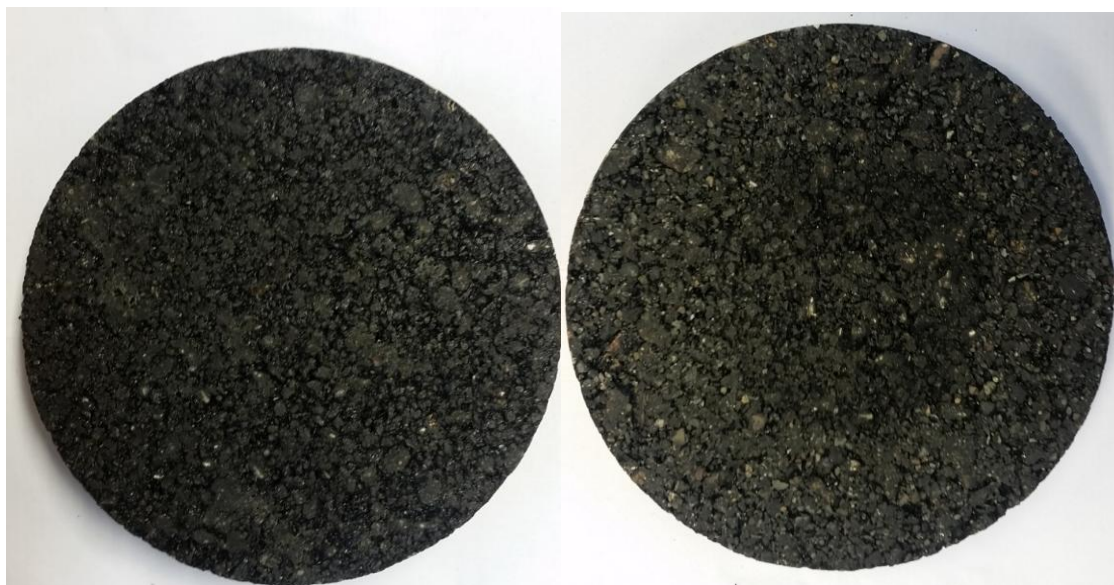
ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}	Δ
1	SKLO	252,79569	0,111	-	-
2	II bez R-mat., 0 poj.	691,27981	0,304	0,297	-
3	SKLO	257,37380	0,113	-	0,00
4	SKLO	254,94415	0,112	-	0,00
5	II bez R-mat, 9 000 poj.	921,65194	0,405	0,396	0,099
6	SKLO	263,35913	0,116	-	0,00
7	SKLO	251,69810	0,111	-	0,01
8	II bez R-mat., 18 000 poj.	911,81695	0,400	0,393	0,003
9	SKLO	261,31396	0,115	-	0,00
10	SKLO	416,36077	0,183	-	0,07
11	II bez R-mat., 27 000 poj.	937,00063	0,412	0,370	0,023
12	SKLO	258,98380	0,114	-	0,07
13	SKLO	246,80099	0,108	-	0,01
14	II bez R-mat., 42 000 poj.	909,83653	0,400	0,394	0,024
15	SKLO	259,59730	0,114	-	0,01
16	SKLO	248,91947	0,109	-	0,00
17	II bez R-mat., 57 000 poj.	881,13649	0,387	0,381	0,013
18	SKLO	256,19802	0,113	-	0,00
19	SKLO	253,35012	0,111	-	0,00
20	II bez R-mat., 87 000 poj.	858,21252	0,377	0,369	0,012
21	SKLO	261,01548	0,115	-	0,00
22	SKLO	254,96495	0,112	-	0,00
23	II bez R-mat., 117000 poj.	838,23971	0,368	0,361	0,008
24	SKLO	256,93040	0,113	-	0,00
25	SKLO	252,53106	0,111	-	0,00
26	II bez R-mat., 1 47 000 poj.	781,57022	0,343	0,337	0,024
27	SKLO	254,78964	0,112	-	0,00
28	SKLO	256,44466	0,113	-	0,00
29	II bez R-mat., 1 77 000 poj.	781,48159	0,343	0,339	0,002
30	SKLO	240,13089	0,105	-	0,01
31	SKLO	249,05111	0,109	-	0,00
32	II bez R-mat., 2 07 000 poj.	782,92033	0,344	0,338	0,001
33	SKLO	254,53594	0,112	-	0,00
34	SKLO	251,39619	0,110	-	0,00
35	II bez R-mat., 2 37 000 poj.	779,87385	0,343	0,337	0,002
36	SKLO	253,81725	0,111	-	0,00
37	SKLO	245,69257	0,108	-	0,00
38	II bez R-mat., 2 97 000 poj.	729,80502	0,321	0,316	0,021
39	SKLO	252,74846	0,111	-	0,00

PŘÍLOHA B6

ACO 11 + 38 % R-MATERIÁLU - ZKUŠEBNÍ VZOREK III.

Před zkouškou:

Po zkoušce:



ACO 11 + 38 % R-MATERIÁLU - ZKUŠEBNÍ VZOREK III.

ČÍSLO	VZOREK	MOMENT	μ_m	μ_{FAP}	Δ
1	SKLO	242,50222	0,107	-	-
2	III R-mat., 0 poj.	639,03698	0,281	0,270	-
3	SKLO	282,34424	0,124	-	0,02
4	SKLO	270,84505	0,119	-	0,01
5	III R-mat., 9 000 poj.	902,95459	0,397	0,385	0,114
6	SKLO	262,10712	0,115	-	0,00
7	SKLO	266,58578	0,117	-	0,00
8	III R-mat., 18 000 poj.	971,87757	0,427	0,418	0,034
9	SKLO	250,24476	0,110	-	0,01
10	SKLO	258,54323	0,114	-	0,00
11	III R-mat., 27 000 poj.	958,14060	0,421	0,416	0,002
12	SKLO	250,12901	0,110	-	0,00
13	SKLO	248,44127	0,109	-	0,00
14	III R-mat., 42 000 poj.	953,63843	0,419	0,416	0,000
15	SKLO	247,53797	0,109	-	0,00
16	SKLO	250,47831	0,110	-	0,00
17	III R-mat., 57 000 poj.	923,45500	0,406	0,402	0,014
18	SKLO	242,97740	0,107	-	0,00
19	SKLO	251,69250	0,111	-	0,00
20	III R-mat., 87 000 poj.	941,96357	0,414	0,409	0,007
21	SKLO	247,12333	0,109	-	0,00
22	SKLO	243,77915	0,107	-	0,00
23	III R-mat., 117 000 poj.	877,27788	0,385	0,383	0,026
24	SKLO	244,73277	0,107	-	0,00
25	SKLO	248,76032	0,109	-	0,00
26	I R-mat., 1 47 000 poj.	854,41572	0,375	0,372	0,011
27	SKLO	245,78050	0,108	-	0,00
28	SKLO	244,01014	0,107	-	0,00
29	I R-mat., 1 77 000 poj.	854,34897	0,375	0,372	0,000
30	SKLO	250,09710	0,110	-	0,00
31	SKLO	251,77883	0,111	-	0,00
32	III R-mat., 2 07 000 poj.	829,97134	0,365	0,361	0,011
33	SKLO	242,46377	0,106	-	0,00
34	SKLO	239,90807	0,105	-	0,00
35	III R-mat., 2 37 000 poj.	808,87392	0,355	0,353	0,008
36	SKLO	250,06745	0,110	-	0,00
37	SKLO	246,25695	0,108	-	0,00
38	III R-mat., 2 97 000 poj.	792,99294	0,348	0,344	0,008
39	SKLO	250,63847	0,110	-	0,00

PŘÍLOHA B7

SOUHRN VÝSLEDKŮ ZKUŠEBNÍCH TĚLES

SOUHRN VÝSLEDKŮ													
ACO 11							ACO 11+ 38 % R-materiálu						
μ_{FAP}			Δ			FAP	μ_{FAP}			Δ			FAP
Vzorek I	Vzorek II	Vzorek III	I-II	I-III	II-III		Vzorek I	Vzorek II	Vzorek III	I-II	I-III	II-III	
0,215	0,305	0,284	0,089	0,068	0,021	0,319	0,215	0,297	0,270	0,081	0,055	0,026	0,283
0,466	0,349	0,398	0,117	0,068	0,048	0,432	0,253	0,396	0,385	0,143	0,132	0,011	0,390
0,464	0,376	0,446	0,088	0,019	0,069	0,455	0,283	0,393	0,418	0,110	0,135	0,026	0,406
0,429	0,395	0,460	0,035	0,031	0,065	0,445	0,313	0,370	0,416	0,057	0,103	0,046	0,393
0,408	0,373	0,423	0,035	0,016	0,050	0,416	0,330	0,394	0,416	0,064	0,086	0,022	0,405
0,395	0,356	0,414	0,040	0,019	0,059	0,405	0,325	0,381	0,402	0,057	0,078	0,021	0,392
0,364	0,335	0,387	0,029	0,023	0,052	0,375	0,310	0,369	0,409	0,059	0,099	0,040	0,389
0,358	0,319	0,380	0,039	0,022	0,062	0,369	0,296	0,361	0,383	0,064	0,087	0,022	0,372
0,340	0,306	0,367	0,035	0,027	0,062	0,354	0,324	0,337	0,372	0,012	0,047	0,035	0,354
0,334	0,313	0,362	0,022	0,028	0,049	0,348	0,328	0,339	0,372	0,011	0,044	0,033	0,355
0,320	0,298	0,335	0,022	0,015	0,037	0,327	0,322	0,338	0,361	0,017	0,039	0,023	0,350
0,314	0,268	0,340	0,046	0,026	0,072	0,327	0,308	0,337	0,353	0,028	0,044	0,016	0,345
0,307	0,274	0,332	0,033	0,025	0,059	0,319	0,308	0,316	0,344	0,008	0,036	0,028	0,330